

**Viola Cavallo**

**Maud Ranchet**

**Maria Pinto**

**Stéphane Espié**

**Fabrice Vienne**

**Nguyen-Thong Dang**

## **Projet AVIMOTO**

**Améliorer la Visibilité des MOTOCycles**

*Rapport final*

*Novembre 2013*



## SOMMAIRE

<b>I.</b>	<b>CONTEXTE SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>5</b>
1.	Le projet AVIMOTO .....	5
2.	Cadre théorique.....	5
3.	Démarche envisagée .....	7
4.	Délais de réalisation .....	8
<b>II.</b>	<b>EXPERIMENTATION 1 : Influence des configurations innovantes sur le choix des intervalles temporels selon différentes conditions de visibilité.....</b>	<b>9</b>
1.	Objectifs .....	9
2.	Méthodologie.....	10
	<i>2.1 Participants.....</i>	<i>10</i>
	<i>2.2 Matériel.....</i>	<i>10</i>
	2.2.1 Mini-simulateur de conduite et scènes visuelles .....	10
	2.2.2 Documents utilisés .....	12
	<i>2.3 Tâche .....</i>	<i>12</i>
	<i>2.4 Protocole expérimental .....</i>	<i>12</i>
	2.4.1 Situation expérimentale .....	12
	2.4.2 Variables expérimentales .....	13
	2.4.3 Répartition des essais .....	16
	<i>2.5 Procédure .....</i>	<i>16</i>
	<i>2.6 Traitement des données .....</i>	<i>17</i>
3.	Résultats .....	18
	<i>3.1. Condition nocturne .....</i>	<i>18</i>
	3.1.1. IT médian accepté .....	18
	3.1.2 Marge de sécurité .....	19
	3.1.3 Discussion .....	20
	<i>3.2 Condition crépusculaire.....</i>	<i>22</i>
	3.2.1. IT médian accepté .....	22
	3.2.2 Marge de sécurité .....	24
	3.2.3 Discussion .....	25
	<i>3.3 Condition de jour .....</i>	<i>27</i>
	3.3.1 IT médian accepté .....	27
	3.3.2 Marge de sécurité .....	28

3.3.3 Discussion .....	28
<b>4. Conclusions .....</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Sur le plan théorique</i> .....	29
4.2 <i>Sur le plan de l'application</i> .....	31
<b>III. EXPERIMENTATION 2 : Influence des configurations innovantes sur la détectabilité des motos .....</b>	<b>32</b>
<b>1. Objectifs .....</b>	<b>32</b>
<b>2. Méthodologie.....</b>	<b>33</b>
2.1. <i>Participants</i> .....	33
2.2. <i>Matériel</i> .....	33
2.2.1. Mini-simulateur de conduite et scènes visuelles .....	33
2.2.2. Documents utilisés .....	34
2.3. <i>Tâche</i> .....	34
2.4 <i>Protocole expérimental</i> .....	34
2.4.1. Variables expérimentales .....	34
2.4.2. Répartition des essais par bloc .....	36
2.5 <i>Procédure</i> .....	37
2.6 <i>Traitement des données</i> .....	38
<b>3. Résultats .....</b>	<b>39</b>
3.1 <i>Résultats descriptifs</i> .....	39
3.2 <i>Analyse GEE</i> .....	41
3.3. <i>Discussion</i> .....	45
<b>4. Conclusions .....</b>	<b>47</b>
<b>IV. CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>49</b>

# **I. CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

## **1. Le projet AVIMOTO**

Les présents travaux s'inscrivent dans le cadre d'une convention signée avec la Fondation MAIF (convention-2011-03) au travers du projet AVIMOTO qui vise à améliorer la visibilité des motocycles pour les conducteurs automobiles. Elle prolonge les travaux déjà menés au sein de l'équipe (Cavallo & Pinto, 2012; Pinto, Cavallo, & Saint-Pierre, sous presse), dans le cadre du projet européen 2-Be-Safe (2009-2011) sur la conspécuité visuelle des deux-roues motorisés. Le projet AVIMOTO propose de définir une nouvelle signature visuelle des motocycles à travers la configuration de leurs feux avant. Grâce à ces moyens ergonomiques, nous visons simultanément deux objectifs :

- rendre les motocycles plus facilement détectables et identifiables par les automobilistes,
- permettre aux automobilistes de mieux percevoir le mouvement des motocycles et d'adopter à leur égard des créneaux d'insertion plus sûrs.

## **2. Cadre théorique**

La question de la visibilité des motocycles est depuis longtemps considérée comme un facteur décisif pour la sécurité de ces usagers particulièrement vulnérables. Elle a donné lieu à un grand nombre de travaux de recherche depuis les années 70.

L'intérêt renouvelé pour la question de la visibilité des motocycles dans la plupart des pays développés tient à l'augmentation importante de la mortalité des motocyclistes ces dernières années, atteignant désormais des proportions alarmantes, ce dans un contexte d'augmentation importante du parc. En France, en 2009 le risque d'accident mortel des motocyclistes était 25 fois plus élevé que celui des automobilistes (ONSIR, 2009) et la proportion des motards dans l'ensemble des tués sur la route s'élevait à 28 %, alors même que les motocyclistes ne représentent que 1,6 % du trafic motorisé (IRTAD, 2011).

Les statistiques françaises montrent qu'environ un tiers des accidents mortels n'impliquent que le motocycliste (ONSIR, 2011), suggérant un problème particulier de prise de risque de la part de cette catégorie d'usagers. Outre cette cause d'accident pouvant largement être attribuée au comportement même des motocyclistes, les autres deux tiers des accidents mortels sont dûs à des collisions avec d'autres usagers de la route, et notamment des véhicules légers. Les études approfondies des accidents de deux roues en Europe (Rapport MAIDS : ACEM, 2009)

et aux Etats Unis (Rapport Hurt :Hurt, Ouellet, & Thom, 1981) montrent que dans la majorité de ces accidents le motocycliste avait la priorité. Les analyses d'accidents soulignent, en effet, la grande fréquence d'erreurs perceptives de la part des automobilistes (e.g. Van Elslande & Jaffard, 2010). Deux types d'erreurs perceptives ont été identifiés: des non-détections ou des détections tardives du motorcycle d'une part, et une mauvaise perception du mouvement du motorcycle d'autre part.

En ce qui concerne la détectabilité des motorcycles, cette question a été étudié de façon extensive dès les années 70, en relation avec la notion de conspécuité<sup>1</sup> visuelle des motorcycles (e.g. Janoff & Cassel, 1971; Olson, Halstead-Nussloch, & Sivak, 1981; Thomson, 1980; Williams & Hoffmann, 1979; Woltman & Austin, 1974). En effet, les motorcycles ont par nature une moindre conspécuité que les automobiles, notamment à cause de leur taille réduite et leurs contours irréguliers. La mesure de sécurité essentielle a été l'allumage obligatoire des feux de jour (Daytime Running Lights - DRL) par les motorcycles. En France, par exemple, cette mesure a été introduite en 1975. L'impact positif sur la détectabilité des motorcycles a été démontré dans nombre d'études (e.g. Dahlstedt, 1986; Hendtlass, 1992; Olson, et al., 1981; Zador, 1985).

Cependant l'avantage lié à l'utilisation exclusive des feux de jour par les motocyclistes est actuellement en train de disparaître à cause de l'utilisation croissante des feux de jour par les automobilistes. Des feux de jour dédiés sont obligatoires sur toute nouvelle automobile depuis février 2011. Nos travaux récents (Cavallo & Pinto, 2012) ont montré sans ambiguïté que les motorcycles sont moins détectables lorsque les feux de jour des voitures sont allumés, et que leur perception par les automobilistes pourrait bénéficier de l'utilisation d'une nouvelle signature visuelle (Pinto, et al., sous presse) permettant de les distinguer clairement des voitures. Un certain nombre d'études récentes ont été consacré à la définition d'une telle nouvelle signature pour les motorcycles (e.g. Binder, Perel, Pierowicz, Gawron, & Wilson, 2005; Gershon & Shinar, 2013; Maruyama, Tsutsumi, & Murata, 2009; Pinto, et al., sous presse; Rößger, Hagen, Krzywinski, & Schlag, 2012).

Le problème de la perception du mouvement des motorcycles approchants a été identifié plus récemment, à travers la mise en évidence d'une mauvaise appréciation de la distance, de la vitesse (Gould, Poulter, Helman, & Wann, 2012a; Tsutsumi, Maruyama, & Kazumitsu, 2008), et du temps d'arrivée des motorcycles (DeLucia, 1991; Horswill, Helman, Ardiles, &

---

<sup>1</sup> On peut aussi parler de saillance.

Wann, 2005). Très peu de recherches se sont intéressées à cette question, alors que certaines analyses d'accident suggèrent que la surestimation par l'automobiliste du temps d'arrivée du motocycle est une cause d'accident tout aussi fréquente que la non-détection ou détection tardive du motocycle (Tsutsumi, et al., 2008).

Les distorsions dans la perception du mouvement visuel des motocycles sont également liées à la petite taille des motocycles, qui sont à l'origine de vitesses angulaires plus faibles et plus difficilement perceptibles que celles des voitures. Les premiers travaux destinés à pallier ces erreurs perceptives (Gould, et al., 2012a; Gould, Poulter, Helman, & Wann, 2012b; Tsutsumi, et al., 2008) montrent qu'un agrandissement apparent des dimensions du motocycle, à travers des configurations innovantes de feux avant de moto, peut significativement améliorer la perception de leur vitesse d'approche et augmenter les intervalles temporels acceptés par des conducteurs à leur égard.

Il est étonnant de constater que les travaux destinés à améliorer la perceptibilité des motocycles à travers les configurations de feux avant se sont soit focalisés sur la seule question de leur détectabilité, soit sur celle de la perception de leur mouvement. Aucune étude n'a encore cherché à définir des configurations de feux avant de moto qui permettent de pallier *simultanément* les deux types d'erreurs perceptives des automobilistes.

Les travaux antérieurs suggèrent que les solutions ergonomiques pour pallier les deux types d'erreurs perceptives des automobilistes pourraient obéir à des principes de design différents. L'objectif du présent projet consiste à trouver des solutions permettant une intégration des deux types de configurations bénéfiques de façon à améliorer *en même temps* la détectabilité *et* la perception du mouvement du motocycle.

### **3. Démarche envisagée**

Pour des raisons techniques, nous avons dû inverser l'ordre des études par rapport à ce qui avait été décrit dans le projet initial.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'influence des configurations innovantes sur le choix des *intervalles temporels* entre véhicules approchants (IT) dans une tâche de tourne-à-gauche en intersection. Cette expérimentation comprend deux études distinctes : la première consacrée à des conditions nocturnes, dans lesquelles un effet des configurations de feux avant de moto était le plus probable. Suite aux résultats probants de

cette première étude nous avons, dans une seconde étude, étendu l'expérimentation à des conditions crépusculaires et diurnes.

Dans un deuxième temps, nous avons évalué les configurations qui se sont révélées les plus efficaces lors de cette première expérimentation pour évaluer leur efficacité sur la *délectabilité* des motocycles.

#### **4. Délais de réalisation**

La première expérimentation en conditions nocturnes a été réalisée en juin 2012, avec un retard d'environ 2 mois. Ce retard est dû à deux raisons :

- La mise en place du dispositif expérimental comportant un écran HDR, l'interfaçage de l'écran HDR avec le mini-poste de simulation de conduite et surtout la production d'images HDR (sous-traitée à la société CGDS) ont pris plus de temps qu'initialement prévus.
- La réalisation des pré-tests, phase décisive dans la préparation de l'expérimentation, a dû être décalée suite au retard pris dans la mise au point du matériel expérimental. Plusieurs séries de pré-tests ont été réalisées pour déterminer les variables pertinentes (vitesse et distances des véhicules à l'approche, intervalle temporel entre les véhicules). Finalement, nous avons modifié la tâche initialement prévue de sorte à la rendre plus écologique et à obtenir des indicateurs comportementaux plus fiables : d'une tâche d'estimation de la possibilité de réalisation d'une manœuvre de tourne-à-gauche, nous sommes passés à une tâche de production de la manœuvre, ce qui a nécessité la création de nouveaux scénarios.

La deuxième partie de la première expérimentation concernant les conditions de jour et de crépuscule ont eu lieu au mois de décembre 2012 et janvier 2013.

Pour la seconde expérimentation sur la détectabilité des motocycles, nous avons formé un groupe supplémentaire de sujets pour étudier plus en détail l'influence des distracteurs visuels constitués par les feux de jour des automobiles : outre les deux conditions initialement prévues (feux de croisement et feux de jour correspondant à des leds de formes différentes), nous avons ajouté une condition combinant la présence simultanée de feux de croisement et de feux de jour, car nous avons constaté la pratique courante des automobilistes d'allumer en même temps les deux types de feux, notamment au lever du jour. La seconde expérimentation a été réalisée en septembre et octobre 2013.

## **II. EXPERIMENTATION 1 : Influence des configurations innovantes sur le choix des intervalles temporels selon différentes conditions de visibilité**

### **1. Objectifs**

La première expérimentation a pour objectif d'étudier l'influence de l'ergonomie des feux de moto sur la décision d'effectuer une manœuvre de tourne-à-gauche. Nous avons testé 3 configurations innovantes d'éclairage frontal des motocycles dans une tâche qui nécessite de prendre en compte l'évaluation du temps d'arrivée des véhicules approchants et les intervalles temporels les séparant pour prendre la décision de réaliser ou non une manœuvre de tourne-à-gauche, et ce dans 3 conditions de luminosité : jour, crépuscule et nuit.

Une amélioration de la perception de la vitesse, de la distance et du temps d'arrivée d'un motocycle approchant est possible lorsque la configuration de feux avant permet de visuellement agrandir les dimensions verticales et horizontales du motocycle et ainsi d'augmenter sa taille apparente. La taille angulaire d'un objet est, en effet, un indice important de sa distance ; d'autre part, un objet visuellement plus grand a aussi une vitesse angulaire (ou vitesse d'expansion) plus grande et plus facilement perceptible.

L'effet d'augmentation de la taille apparente du motocycle pourrait aussi dépendre des conditions de luminosité ambiante dans la mesure où elles influent sur la visibilité du motocycle et déterminent ses dimensions visibles : du fait d'un bon contraste avec l'environnement, le motocycle entier est parfaitement visible en condition de jour; sa silhouette est visible en condition crépusculaire, mais elle est plus difficilement visible du fait du faible contraste avec l'environnement ; seuls les feux avant de moto peuvent être perçus en conditions de nuit.

*Nous faisons donc l'hypothèse qu'une configuration de feux avant agrandissant les dimensions visibles du motocycle peut influencer et améliorer la perception de la vitesse, de la distance et du temps d'arrivée des motocycles, et augmenter les créneaux d'insertion jugés acceptables par les automobilistes. L'effet d'augmentation de la taille apparente du motocycle par des configurations innovantes pourrait aussi dépendre des conditions d'illumination qui influent sur la visibilité des contours du motocycle. Nous supposons que des configurations augmentant la taille apparente du motocycle sont surtout efficaces en*

*condition de luminosité réduite, lorsque les contours du motorcycle ne sont pas ou difficilement visibles.*

## **2. Méthodologie**

### **2.1 Participants**

Les participants étaient tous des conducteurs réguliers (> 3000 km/an) détenteurs du permis depuis au moins 2 ans et avaient une acuité visuelle minimale de 6/10 (avec ou sans verres correcteurs) conformément aux exigences du code de la route. Leur vue était vérifiée en début d'expérimentation grâce à un test d'acuité visuelle (ERGOVISION). Au total, 69 conducteurs volontaires ont été inclus, répartis en 3 groupes de 23 participants : un groupe en condition de nuit, crépuscule et de jour.

Les trois groupes de participants ont été homogénéisés en fonction de leur âge, sexe et expérience de la conduite. Chaque groupe comportait 8 femmes et 15 hommes de 20 à 50 ans, avec une moyenne de 31 ans chacun. Ils ont été recrutés en partie parmi le personnel de l'Ifsttar et d'autre part par voie d'affichage sur un site internet spécialisé dans le recrutement de volontaires pour participer à des expérimentations.

### **2.2 Matériel**

#### **2.2.1 Mini-simulateur de conduite et scènes visuelles**

Le dispositif de simulation est constitué d'un poste de conduite composé d'un siège auto, d'un volant, d'un levier de vitesse et de pédales au sol (Logitech G25, photo 1) et de 2 grands écrans de 47'', un central (situé à 157 cm du participant) et un à gauche sous-tendant un angle visuel horizontal de 80° (Photo 1). L'écran central est un écran LCD haute définition permettant la présentation d'images HDR (SIM<sup>2</sup> HDR473 S 4K). Les caractéristiques principales de cet outil performant sont les suivantes : contraste de l'image > 20000:1, résolution de 1920 x 1080 pixels, luminance de 4000 cd/m<sup>2</sup>. L'association d'un tel écran à très haut pouvoir de luminance et d'images HDR permettant de recréer des contrastes des couleurs et des lumières très réalistes assure au participant des informations de très grande qualité sur laquelle s'appuyer pour prendre ses décisions. L'écran de gauche était un écran LCD (Samsung SyncMaster PXn), offrant une image non HDR mais néanmoins de haute qualité (contraste de l'image 1200:1, résolution de 1920 x 1080 pixels, luminance de 500 cd/m<sup>2</sup>, 16.7 millions de couleur).



Photo 1 : Poste de conduite

La scène visuelle représente une intersection en rase campagne (Photo 2) composée d'une route principale à double sens, large de 7,30 m et disposant d'un marquage central continu sur la majorité de la route, et d'une 2<sup>ème</sup> route de même dimension partant sur la gauche avec un angle de 45° par rapport à la route principale (la portion de route au niveau de l'intersection est exempte de marquage au sol).



Photo 2 : Dispositif expérimental, en cours d'expérimentation en condition nocturne (vue de derrière le participant)

Le trafic approchant en face est présenté sur l'écran central HDR, tandis que la branche d'intersection partant à gauche est présentée sur l'écran non HDR à gauche du conducteur. Ce choix est dicté par la nécessité d'offrir au conducteur une qualité d'image optimale (résolution spatiale et dynamique lumineuse) pendant la durée de l'analyse de la situation et de prise de décision.

Les images sont générées par 1 PC (environnement Windows / bibliothèque graphique Open Scene Graph (OSG) avec une carte GeForce 460 GTX) qui permet également de générer un rendu sonore réaliste et d'enregistrer les actions des participants.

### 2.2.2 Documents utilisés

Au cours de l'expérience, chaque sujet a dû remplir et/ou signer 3 documents :

- Une notice d'information relative à la recherche ;
- Un formulaire de consentement libre et éclairé ;
- Un questionnaire visant à recueillir des informations d'ordre général sur le conducteur : données démographiques, habitudes de conduite, etc...

## 2.3 Tâche

Installé au volant du mini simulateur, le participant voyait défiler plusieurs scénarios de trafic. Chaque scénario se déroulait sur une base de données visuelle représentant une intersection avec une voie principale sur laquelle était positionné le véhicule du sujet à l'arrêt au milieu de la chaussée, et une voie secondaire partant sur la gauche à la hauteur du positionnement du participant. C'est pour emprunter cette voie secondaire que les participants devaient tourner à gauche. La tâche du participant consistait à décider s'il pouvait effectuer en toute sécurité une manœuvre de tourne-à-gauche dans l'intervalle temporel séparant 2 véhicules (Intervalle Temporel = IT) arrivant en face de lui sur la route en sens inverse. Dans le cas où il jugeait la manœuvre possible, le participant devait réaliser la manœuvre au moyen des commandes du mini-simulateur (pédalier, volant, boîte de vitesse), et dans le cas contraire il avait pour consigne de ne pas bouger, de laisser les véhicules passer, et d'attendre l'essai suivant.

## 2.4 Protocole expérimental

### 2.4.1 Situation expérimentale

Chaque essai contenait une file de 3 véhicules arrivant dans la voie opposée à celle du participant. Les deux premiers véhicules étaient invariablement des automobiles (AUDI TT blanches) qui passaient à la hauteur du participant 1 s après le début de l'essai pour le 1<sup>er</sup> véhicule et après 2,5 s pour le 2<sup>e</sup> véhicule. L'IT entre le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> véhicule était quant à lui

variable, de même que le type de véhicule en troisième position (voiture, moto, camion, utilitaire), ainsi que la vitesse de l'ensemble des 3 véhicules (Figure 1).

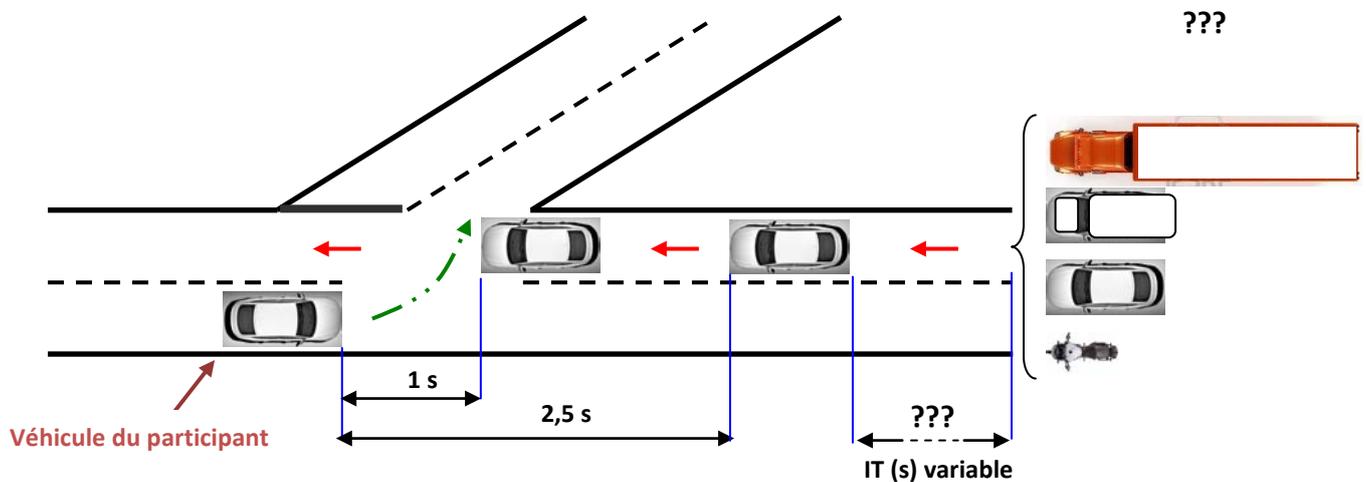


Figure 1. Représentation schématique des scénarios.

#### 2.4.2 Variables expérimentales

**Ergonomie des feux avant de moto.** La première configuration innovante que nous nous proposons de tester consiste en 2 phares fixés au niveau des extrémités du guidon, en plus de l'éclairage central. Cette configuration permet d'augmenter la *dimension horizontale* du motocycle (Figure 2B). La deuxième configuration qui a vocation d'accentuer la *dimension verticale* du motocycle comporte un feu additionnel sur le casque et deux autres au niveau de l'axe de la roue avant en plus du feu central standard (Figure 2C). Le troisième agencement est une configuration *mixte* rassemblant les deux configurations précédentes en une seule (Figure 2D), afin de tester le gain de cette configuration plus complète par rapport aux autres. Il a en effet été montré qu'une configuration du même type permettait d'améliorer l'évaluation de la distance et de la vitesse des motocycles par les automobilistes, de nuit comme de jour (Tsutsumi, et al., 2008). Ces configurations d'éclairage frontal innovantes ont été comparées à une moto avec un éclairage *standard* (à savoir un phare unique central, voir la Figure 2A), ainsi qu'à une voiture.

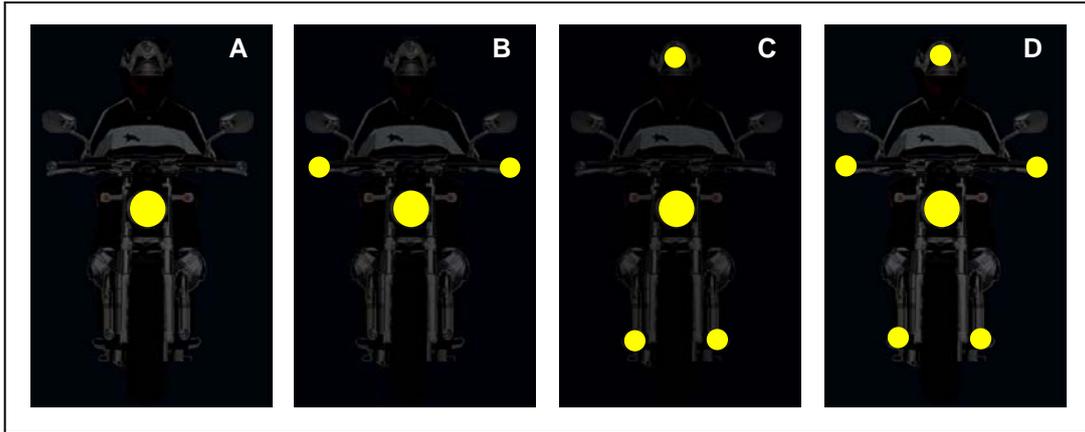


Figure 2 : Représentation schématique des différentes configurations d'éclairage frontal des motos, agencement A) standard, B) horizontal, C) vertical, et D) mixte.

**Conditions d'illumination.** Trois conditions de luminosité ambiante ont été utilisées : conditions nocturnes (Photo 3), crépusculaires (Photo 4) et diurnes (Photo 5). Cette variable influence notamment les contrastes entre les feux des véhicules, leur silhouette et l'environnement, ce qui détermine les dimensions visibles des véhicules.



Photo 3 : Capture d'écran de l'approche d'une moto en condition nocturne



Photo 4 : Capture d'écran de l'approche d'une voiture en condition crépusculaire

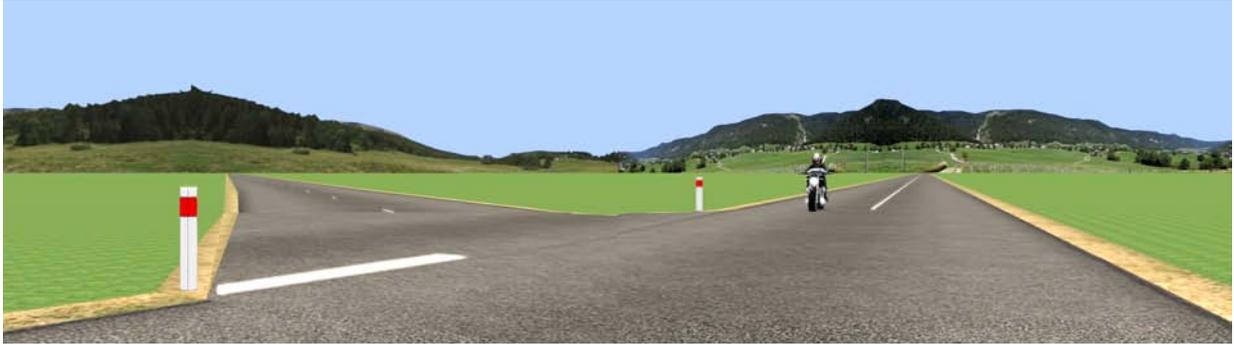


Photo 5 : Capture d'écran de l'approche d'une moto en condition diurne

**Vitesse.** La vitesse d'approche des véhicules pouvant avoir une influence sur l'estimation de son temps d'arrivée, nous avons choisi des vitesses d'approches de 40 et à 60 km/h pour la première partie de l'expérimentation en conditions nocturnes, et des vitesses plus élevées, de 60 et 90 km/h, pour la seconde partie de l'expérimentation en conditions crépusculaires et diurnes.

**Intervalle temporel (IT).** L'intervalle temporel entre le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> véhicule est une autre variable indépendante, et comportait 5 modalités : 3, 4, 5, 6, et 7 s. Comme il a été montré que les IT les plus courts étaient systématiquement refusés alors que les plus longs étaient toujours acceptés (e.g. Lobjois & Cavallo, 2007), nous avons attribué un nombre de réplifications d'essais par IT dépendant de leur probabilité d'être accepté pour effectuer la manœuvre de tourne-à-gauche. Ainsi les 1<sup>ers</sup> et derniers IT n'ont été présentés qu'une fois, tandis que les 2<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> IT ont été présentés 2 fois et que l'IT le plus critique, l'IT intermédiaire a été présenté 3 fois (Tableau 1).

IT (s)	3	4	5	6	7
Nombre d'essais proposés	1	2	3	2	1

Tableau 1 : Nombre d'essais proposés par IT

### 2.4.3 Répartition des essais

La session expérimentale s'est déroulée selon le plan expérimental intra-individuel suivant : Ergonomie des feux<sub>4</sub> (standard vs horizontal vs vertical vs mixte) x Vitesse<sub>2</sub> (40 km/h vs 60 km/h) x IT<sub>9</sub> (1\*3s, 2\*4s, 3\*5s, 2\*6s, 1\*7s). Le croisement de ces variables donne 72 essais expérimentaux contenant une moto, auxquels nous avons ajouté autant d'essais dépourvus de moto mais avec d'autres véhicules venant fermer l'IT (voiture, petit utilitaire et camion)<sup>2</sup>. Dans le but d'éviter d'attirer l'attention des participants exclusivement sur les motocycles la répartition des véhicules suivante a été choisie :

- Dans 50% des essais (n = 72) le 3<sup>e</sup> véhicule était une moto.
- Dans les 50% des essais sans moto : le 3<sup>e</sup> véhicule était une voiture dans 75% des cas (n = 54), un utilitaire dans 12,5% des cas (n = 9) et un camion dans 12,5% des cas (n = 9).
- Les essais motos (n = 72) et 1/3 des essais voitures (n = 18) sont les essais expérimentaux répondant au plan expérimental

En plus de limiter le risque d'attirer l'attention des participants sur les motocycles, puisqu'il n'y a qu'une chance sur 2 seulement qu'une moto ferme l'IT critique, cette répartition permet également de varier les situations et d'éviter ainsi une certaine stéréotypie des réponses. Les 144 essais ont été divisés équitablement en trois blocs de 48 essais, et l'ordre de passation des blocs a été contrebalancé d'un participant à l'autre.

## **2.5 Procédure**

A leur arrivée, les participants commençaient par lire la « notice d'information relative à la recherche » et signer le « le formulaire de consentement libre et éclairé ». Chaque participant effectuait alors le test d'acuité visuelle, afin de vérifier le critère de 6/10 en vision binoculaire. Ce critère est un critère d'inclusion ; dans le cas où il n'aurait pas été respecté, le participant ne pouvait pas faire partie du groupe expérimental.

Une fois installé au volant du mini-simulateur, l'expérimentateur lui lisait à haute voix les instructions de l'expérimentation. Afin de vérifier que les consignes étaient bien comprises, le participant effectuait dans un premier temps 8 essais lui permettant de se familiariser avec le protocole. Ces essais étaient effectués dans les mêmes conditions que les essais de la phase

---

<sup>2</sup>. Le tableau présentant l'ensemble des essais est disponible en annexe.

expérimentale et comportaient 4 essais contenant des motos et 4 essais sans. Dans le cas où les sujets rencontraient des difficultés au cours de cette phase de familiarisation, une deuxième phase de familiarisation pouvaient être effectuée, après une relecture des instructions. Les trois blocs d'essais étaient ensuite présentés au participant espacés de quelques minutes et selon un ordre contrebalancé d'un sujet à l'autre. Les phases de familiarisation et d'expérimentation se déroulaient dans le noir. La session se terminait ensuite par le remplissage d'un questionnaire permettant de recueillir des informations d'ordre général et en lien avec l'étude, sur les participants.

La session expérimentale durait environ  $\frac{3}{4}$  d'heure et se décomposait comme ceci : 5 minutes pour le test visuel, 5 minutes pour la lecture et la signature des divers documents, 5 minutes pour se familiariser avec le protocole et le dispositif de simulation et 30 minutes environ de passation des blocs expérimentaux comprenant 3 minutes d'intervalles entre chacun d'eux.

## ***2.6 Traitement des données***

L'IT médian accepté par les participants en fonction du croisement des variables *vitesse* et *feux de motos/type de véhicule* a été calculé par régression logistique. La fonction logistique a été utilisée pour déterminer le point de transition entre la décision de tourner ou de ne pas tourner à gauche, i.e. 50% de chance de réaliser la manœuvre.

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-((x-\alpha)/\beta)}} \quad \text{Où } x \text{ est le gap et } \beta \text{ est la pente de la courbe logistique au point } \alpha.$$

La marge de sécurité a également été calculée. Elle est définie par le temps (en secondes) séparant le véhicule du participant et celui approchant.

Ces indicateurs comportementaux ont été soumis à des analyses de variance (ANOVA). Le seuil de significativité a été établi à 0,05 et la taille d'effet ( $\eta^2$ ) également été calculé e. Les effets significatifs sont analysés plus en détail par le test post-hoc de Scheffé.

### 3. Résultats

#### 3.1. Condition nocturne

##### 3.1.1. IT médian accepté

L'ANOVA du plan intra individuel Ergonomie des feux<sub>5</sub> x Vitesse<sub>2</sub> a révélé un effet principal de la variable *ergonomie des feux*, ( $F(4,1) = 10,8$  ;  $p < 0,0001$  ;  $\eta^2 = 0,33$ ) (Figure 3). Les tests post-hoc révèlent que l'IT médian accepté est significativement plus long pour les agencements d'éclairage frontal *vertical* ( $M = 5,29$  s) et *mixte* ( $M = 5,39$  s) que pour l'éclairage *standard* ( $M = 4,77$  s), et que ces configurations ne se différencient pas des IT médians acceptés dans le cas où une *voiture* ferme l'intervalle ( $M = 5,41$  s).

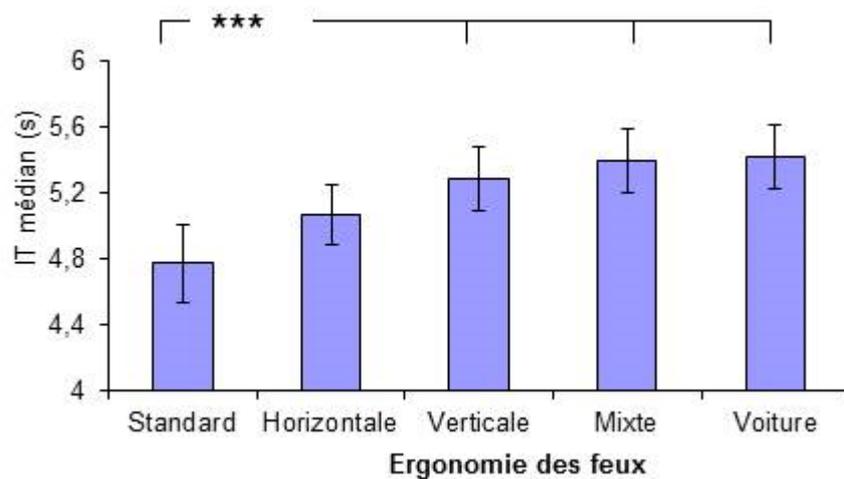


Figure 3. IT médians acceptés (s) en fonction de l'ergonomie des feux en condition nocturne (\*\*\*)  $p < 0,0001$ .

Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types

L'effet principal de la vitesse est également significatif ( $F(1,1) = 149,1$  ;  $p < 0,0001$  ;  $\eta^2 = 0,87$ ) : les IT médians acceptés à 60 km/h ( $M = 4,69$  s) sont plus courts qu'à 40 km/h ( $M = 5,68$  s). Enfin l'interaction entre l'ergonomie des feux et la vitesse des véhicules approchant est également significative ( $F(4,1) = 3,39$  ;  $p < 0,05$  ;  $\eta^2 = 0,13$ ) et spécifie l'effet principal de l'ergonomie des feux. Les tests post-hoc révèlent que ce n'est qu'à 60 km/h qu'on observe des IT médians acceptés plus courts en condition *standard* ( $M = 4$  s) qu'en conditions *verticale* ( $M = 4,93$  s), *mixte* ( $M = 4,97$  s), et de *voiture* ( $M = 5$  s). A 40 km/h, aucune des conditions ne se distingue l'une de l'autre (Figure 4).

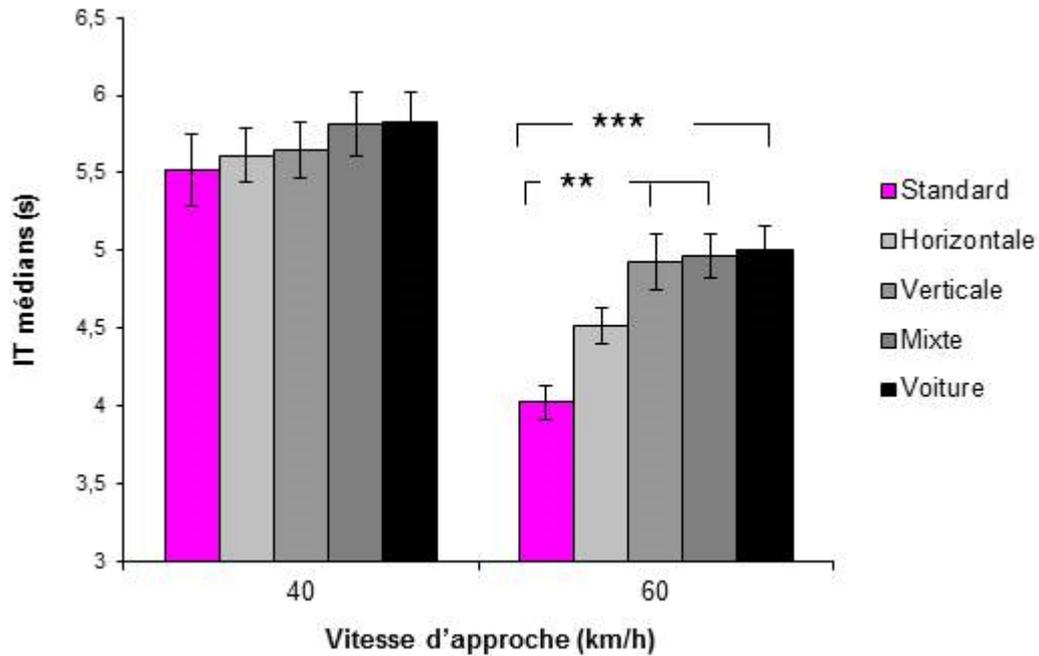


Figure 4. IT médians acceptés (s) en fonction de la vitesse des véhicules approchants et de l'ergonomie des feux (\*\*\*)  $p < 0,0001$  ; \*\* $p < 0,001$ ).

Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types

### 3.1.2 Marge de sécurité

L'ANOVA du plan intra individuel Ergonomie des feux<sub>5</sub> x Vitesse<sub>2</sub> a révélé un effet principal de la variable *ergonomie des feux*, ( $F(4,1) = 5,33$  ;  $p < 0,001$  ;  $\eta^2 = 0,19$ ) (Figure 5). Les tests post-hoc révèlent que la marge de sécurité est significativement plus longue pour les agencements d'éclairage frontal *horizontal* ( $M = 2,85$  s) et *vertical* ( $M = 2,88$  s) et mixte ( $M = 2,91$  s) que pour l'éclairage *standard* ( $M = 2,57$  s).

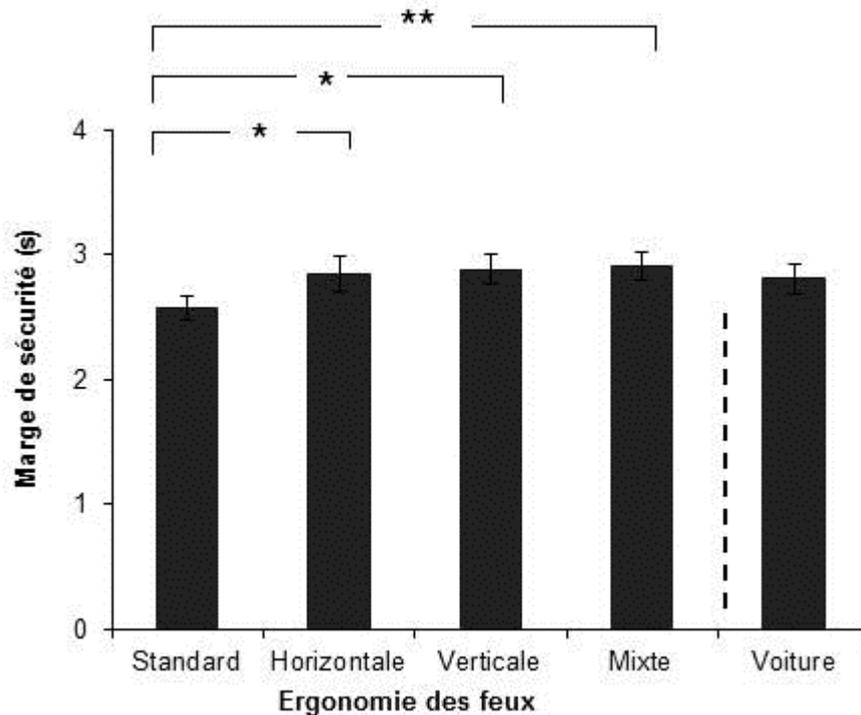


Figure 5. Marges de sécurité (s) en fonction de l'ergonomie des feux en condition nocturne (\* $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ).

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

Nous avons également un effet significatif de la vitesse sur la marge de sécurité [ $F(1,1) = 44,93$  ;  $p < 0,0001$  ;  $\eta^2 = 0,67$ ] : les participants adoptent une marge de sécurité plus courte à 60 km/h ( $M = 2,63$  s) qu'à 40 km/h ( $M = 2,98$  s). En revanche, l'analyse ne révèle pas d'interaction significative entre l'ergonomie des feux et la vitesse sur la marge de sécurité [ $F(4,1) = 1,54$  ;  $p = 0,198$  ;  $\eta^2 = 0,07$ ].

### 3.1.3 Discussion

Les résultats mettent tout d'abord clairement en évidence une influence significative de l'ergonomie des feux, de nuit, sur la taille des intervalles temps adoptés par les conducteurs pour effectuer une manœuvre de tourne en gauche dans un trafic arrivant en sens opposé. Les conducteurs effectuent des manœuvres significativement plus risquées face à une moto comportant un phare unique central que face à une moto disposant de l'agencement vertical ou mixte. Et plus intéressant encore, les créneaux d'insertions choisis face à ces deux agencements innovants ne se distinguent pas significativement des créneaux d'insertion choisis devant une voiture. Ces résultats montrent que les configurations verticale et mixte ont effectivement permis aux participants de mieux évaluer le temps d'arrivée des motos et

d'accepter des intervalles temporels proches de ceux adoptés pour les voitures. En moyenne, ces deux configurations permettent de gagner respectivement 0,52 s et 0,62 s dans le choix des créneaux d'insertion par rapport à l'intervalle temps accepté devant un éclairage unique central. Concrètement, face à un trafic roulant à 60 km/h, choisir un intervalle de temps supérieur de 0,52 s ou 0,62 s correspond à offrir une distance supplémentaire de 8,7 m ou 10,6 m respectivement, ce qui est loin d'être négligeable en termes de sécurité. En revanche, malgré une augmentation observée de l'intervalle de temps accepté pour la configuration horizontale, les créneaux d'insertion adoptés ne se distinguent pas significativement de ceux acceptés devant une moto avec un feu standard ( $M = 5,1$  s vs  $M = 4,77$  s ; *ns*).

Les résultats montrent également que les participants adoptent des marges de sécurité plus importantes face à une moto comportant un éclairage horizontal, vertical et mixte que face à une moto standard. L'introduction de chacune des trois nouvelles configurations de feux pourrait donc améliorer la sécurité des motocyclistes. Les résultats sur la marge de sécurité pour la configuration horizontale (3 feux disposés en triangle) vont dans le même sens que ceux de Gould et al. (2012b). Dans leur étude, les participants avaient beaucoup plus de difficultés à juger la vitesse des motos avec éclairage standard que des motos disposant d'une configuration de trois feux en condition nocturne. Ces auteurs en concluaient que l'introduction d'une configuration « trois feux » améliorerait significativement la précision des jugements de la vitesse en condition nuit.

Un deuxième résultat intéressant concerne l'effet de la vitesse d'approche des véhicules sur les intervalles de temps acceptés et la marge de sécurité : à 60 km/h, les conducteurs ont des comportements plus risqués qu'à 40 km/h, en adoptant des créneaux d'insertion et une marge de sécurité plus courts à 60 km/h qu'à 40 km/h. L'influence de la vitesse des véhicules à l'approche est bien connue dans les travaux sur la perception du temps d'arrivée (voir par ex. Cavallo, Mestre, & Berthelon, 1997 pour une synthèse) ainsi que sur l'acceptation d'intervalles de temps en conduite (Cooper, Storr, & Wennell, 1977; Yan, Radwan, & Guo, 2007) ou encore lors de la traversée de rue (Dommes, Cavallo, Vienne, & Aillerie, 2012; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009). Une vitesse élevée des véhicules à l'approche est très clairement associée à une surestimation du temps disponible et ainsi à une plus grande prise de risque.

Un dernier résultat se rapporte à l'interaction entre l'ergonomie des feux et la vitesse sur l'intervalle de temps accepté qui révèle que le bénéfice de l'ergonomie des feux n'est observable qu'à 60 km/h et non pas à 40 km/h. Ce résultat renforce l'hypothèse de proximité physique des véhicules à 40 km/h, qui amènerait les participants à adopter des comportements sécuritaires quel que soit la configuration des feux ou le type de véhicule approchant.

*In fine*, cette première phase de l'expérimentation I en condition nocturne a permis d'une part de valider notre hypothèse principale qui consistait à dire qu'un agrandissement de l'éclairage frontal des motos était capable d'améliorer la perception de son temps d'arrivée, notamment avec les configurations verticale et mixte. Et d'autre part, elle révèle que l'impact bénéfique de la configuration des feux avant de moto se produit surtout lorsque la moto approche vitesse élevée (ici : à 60 km/h), donc dans les situations les plus dangereuses pour les motocyclistes. Pour cette raison, nous avons décidé pour la seconde phase de cette expérimentation d'étudier la vitesse d'approche des véhicules à 60 km/h et à 90 km/h pour la condition crépusculaire et diurne.

### ***3.2 Condition crépusculaire***

#### **3.2.1. IT médian accepté**

L'ANOVA du plan intra individuel Ergonomie des feux<sub>5</sub> \* Vitesse<sub>2</sub> a révélé un effet principal de la variable *ergonomie des feux* [ $F(4, 1) = 12,03$  ;  $p < 0,0001$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ] (Figure 6). Les tests post-hoc révèlent que l'IT médian accepté est significativement plus long pour les agencements d'éclairage frontal vertical ( $M = 5,06$  s) et mixte ( $M = 4,94$  s) que pour l'éclairage standard ( $M = 4,66$  s) et horizontal ( $M = 4,63$  s). Ces configurations (vertical et mixte) ne se différencient pas au niveau des IT médians acceptés de la voiture ( $M = 5,08$  s).

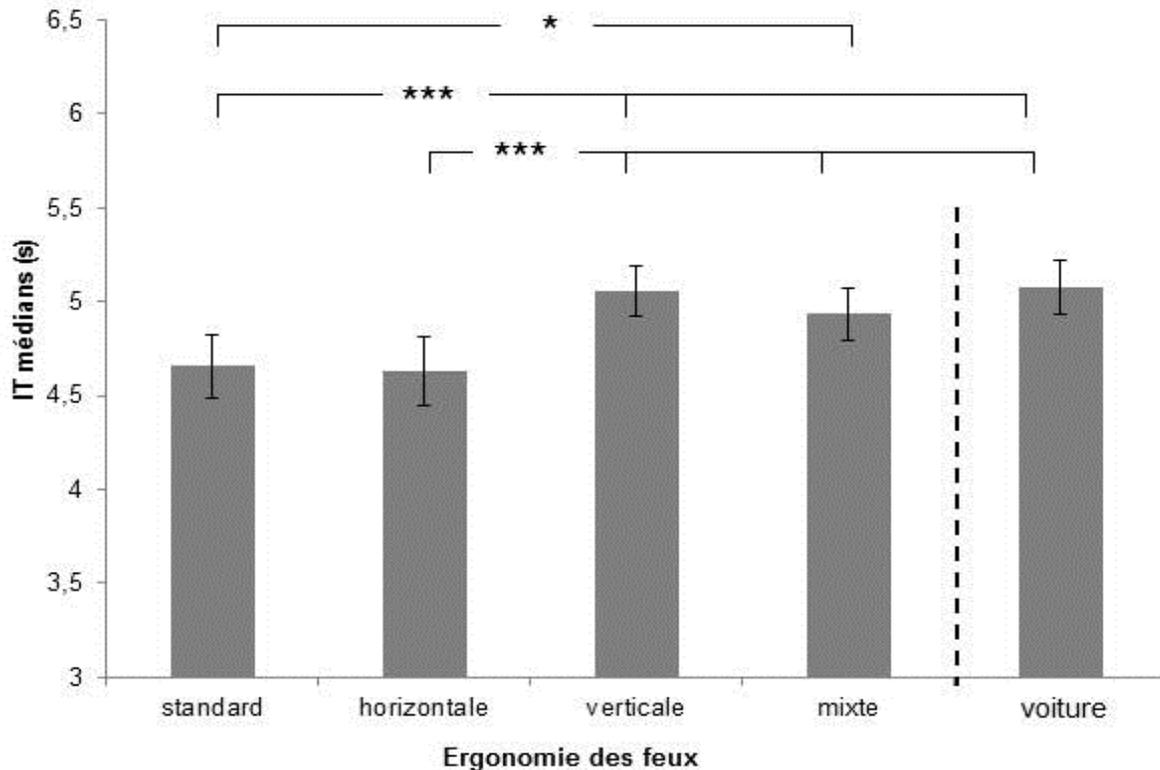


Figure 6. IT médians acceptés (s) en fonction de l'ergonomie des feux en condition crépusculaire (\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ).

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

L'effet principal de la vitesse est également significatif [ $F(1, 1) = 125,49$ ;  $p < 0,0001$ ;  $\eta^2 = 0,85$ ] : les IT médians acceptés à 90 km/h ( $M = 4,42$  s) sont significativement plus courts qu'à 60 km/h ( $M = 5,32$  s) ( $p < 0,0001$ ). Enfin, l'interaction entre l'ergonomie des feux et la vitesse des véhicules approchants est également significative [ $F(4, 1) = 11,10$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,34$ ]. A 60 km/h, les tests post hoc ne révèlent pas de différence significative entre les configurations de feux au niveau des IT médians acceptés. En revanche, à 90 km/h, les IT médians acceptés sont significativement plus courts en condition d'éclairage standard ( $M = 4,01$  s) qu'en condition d'éclairage vertical ( $M = 4,63$  s), mixte ( $M = 4,77$  s) et par rapport à la voiture ( $M = 4,67$  s) (Figure 7). Les IT médians acceptés sont également significativement plus courts en condition d'éclairage horizontal ( $M = 4,03$  s) par rapport à la condition mixte, vertical et par rapport à la voiture ( $M = 4,67$  s). A 90 km/h, nous n'avons pas trouvé de différence significative au niveau des IT médians acceptés entre la condition verticale et la condition mixte et de voiture.

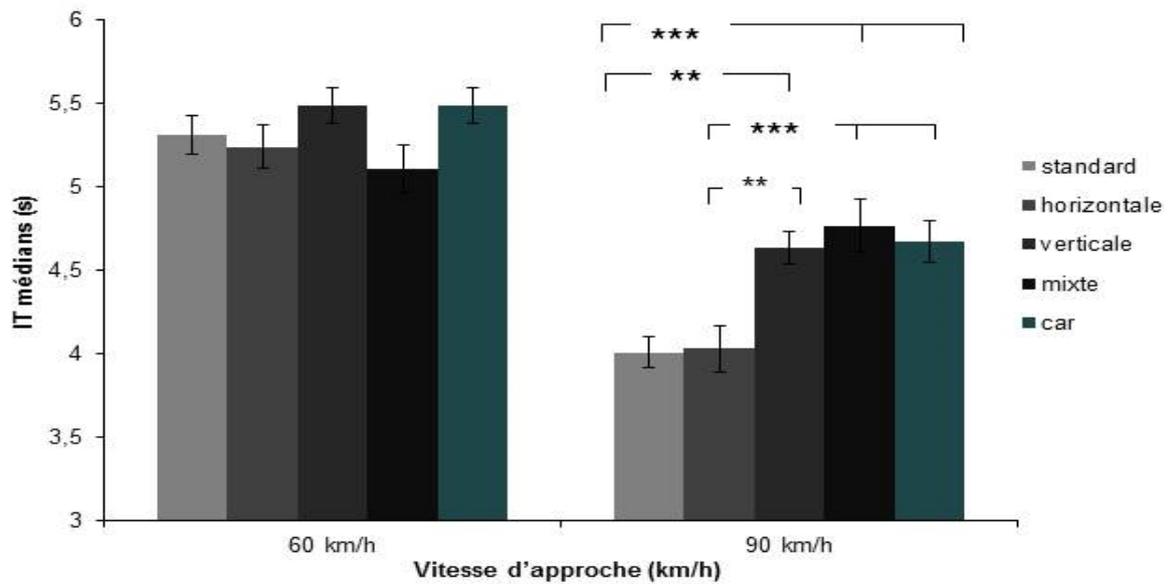


Figure 7. IT médians acceptés (s) en fonction de l'ergonomie des feux et de la vitesse des véhicules approchant en condition crépusculaire (\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ).

Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types

### 3.2.2 Marge de sécurité

L'ANOVA révèle un effet principal de la variable ergonomie des feux [ $F(4, 1) = 5,71$  ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,21$ ]. Les tests post-hoc montrent que la marge de sécurité est significativement plus courte lorsque le véhicule approchant est une moto disposant d'un éclairage standard par rapport à une voiture ( $M_{\text{standard}} = 2,92$  s vs  $M_{\text{voiture}} = 3,12$  s ;  $p < 0,05$ ). La marge de sécurité est également significativement plus courte lorsque la moto approchant dispose d'un éclairage horizontal ( $M = 2,90$  s) par rapport à un éclairage vertical ( $M = 3,09$  s ;  $p < 0,05$ ) ou une voiture ( $M = 3,12$  s ;  $p < 0,01$ ) (Figure 8).

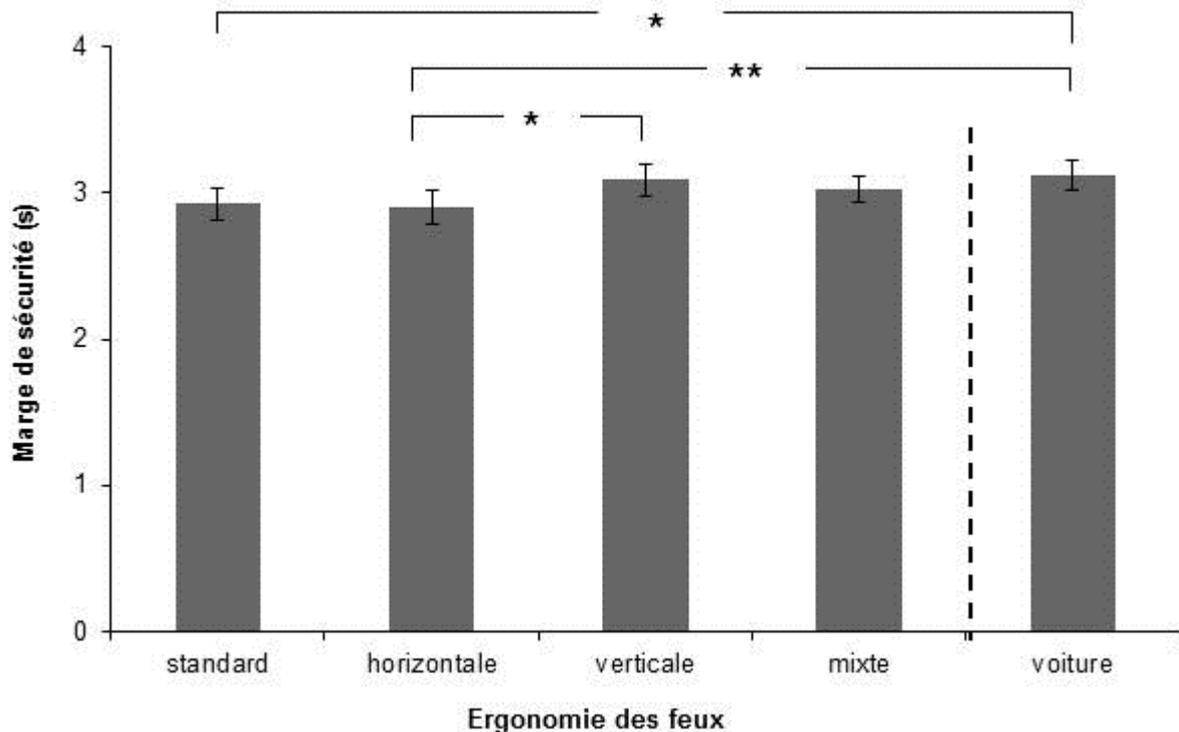


Figure 8. Marges de sécurité (s) en fonction de l'ergonomie des feux en condition crépusculaire (\* $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ).

Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types

Nous observons également un effet significatif de la vitesse sur la marge de sécurité [ $F(1, 1) = 61,08$  ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,74$ ]. Les participants ont une marge de sécurité significativement plus courte lorsque la vitesse des véhicules approchant est de 90 km/h ( $M = 2,80$  s) par rapport à 60 km/h ( $M = 3,22$  s). L'interaction Ergonomie des feux<sub>5</sub>\*Vitesse<sub>2</sub> est significative [ $F(4, 1) = 5,36$  ;  $p = 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,20$ ]. Les tests post hoc révèlent que ce n'est qu'à 90 km/h que la marge de sécurité est significativement plus courte en condition standard ( $M = 2,62$  s) qu'en verticale ( $M = 2,93$  s ;  $p < 0,05$ ) et mixte ( $M = 2,93$  s ;  $p < 0,05$ ). Les marges de sécurité tendent à être significativement plus courtes en condition horizontale ( $M = 2,63$  s) par rapport à la condition verticale ( $M = 2,93$  s ;  $p = 0,06$ ) et mixte ( $M = 2,93$  s ;  $p = 0,06$ ).

### 3.2.3 Discussion

Comme pour la condition de nuit, les résultats montrent une influence significative de l'ergonomie des feux en condition crépusculaire sur la taille des intervalles de temps et les marges de sécurité adoptés par les conducteurs pour effectuer une manœuvre de tourne à gauche dans un trafic arrivant en sens opposé. Les intervalles de temps sont significativement plus courts lorsque la moto comporte un phare unique central (condition standard) par rapport

à une moto disposant d'un éclairage vertical ou mixte. De plus, les créneaux d'insertion pour ces deux configurations innovantes ne se différencient pas de ceux utilisés pour la voiture. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt d'une configuration d'éclairage qui accentue la dimension verticale du motorcycle et qui permet au conducteur d'accepter des intervalles temporels proches de ceux adoptés pour les voitures. Les configurations verticale et mixte permettent de gagner en moyenne 0,32 s dans le choix des créneaux d'insertion par rapport à l'intervalle de temps accepté pour un éclairage standard.

Nos résultats sont en accord avec d'autres études qui révèlent que les conducteurs ont plus de difficultés lorsque le véhicule approchant est une moto standard par rapport à une voiture (Gould, et al., 2012b). Les résultats montrent aussi que les participants adoptent une marge de sécurité significativement plus grande lorsque la moto dispose d'un éclairage vertical par rapport à un éclairage horizontal. De plus, la marge de sécurité adoptée face à une moto avec configuration verticale ou mixte ne se distingue pas significativement de celle adoptée face à une voiture. Ces résultats soulignent donc l'intérêt des configurations de feux verticale et mixte par rapport à une configuration horizontale en condition de pénombre.

Comme pour la condition nocturne, les résultats révèlent également un effet de la vitesse d'approche des véhicules sur l'intervalle de temps accepté et la marge de sécurité. A 90 km/h (cette vitesse n'a pas été testée dans la condition de nuit), les conducteurs choisissent des créneaux d'insertion et des marges de sécurité plus courts qu'à 60 km/h, ce qui signifie qu'ils ont des comportements plus risqués à 90 km/h qu'à 60 km/h. L'interaction entre l'ergonomie des feux et la vitesse indique que l'effet bénéfique des configurations verticale et mixte est observé uniquement à 90 km/h, et pas à 60 km/h.

Contrairement aux résultats en condition nocturne, les comportements observés en condition crépusculaire ne montrent pas d'effet de la configuration de feux sur les intervalles de temps acceptés et la marge de sécurité à 60 km/h. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus pour la condition nocturne à 60 km/h où nous avons montré un effet de l'ergonomie de feux sur les intervalles de temps acceptés et sur la marge de sécurité à 60 km/h. Si le protocole utilisé n'a pas été identique (40 et 60 km/h pour la condition nocturne alors que pour la condition crépusculaire, nous avons utilisé 60 et 90 km/h), d'autres facteurs peuvent expliquer la divergence de résultats entre la condition crépusculaire et la condition nocturne. Il s'agit notamment des différences de contraste de luminance entre le contour des motos et

l'environnement, et de facto l'impossibilité de percevoir la silhouette de la moto en condition nocturne.

### 3.3 Condition de jour

#### 3.3.1 IT médian accepté

L'ANOVA du plan intra individuel Ergonomie des feux<sub>5</sub>\* Vitesse<sub>2</sub> ne montre pas d'effet significatif de l'ergonomie des feux sur les intervalles de temps adoptés [ $F(4,1) = 0,48$  ;  $ns$ ] ( $M_{\text{standard}} = 4,78$  s ;  $M_{\text{horizontale}} = 4,82$  s ;  $M_{\text{verticale}} = 4,89$  s ;  $M_{\text{mixte}} = 4,80$  s ;  $M_{\text{voiture}} = 4,87$  s) (Figure 9). En revanche, nous observons un effet significatif de la vitesse [ $F(1,1) = 43,24$  ;  $p < 0,0001$  ;  $\eta^2 = 0,66$ ] : les IT médians acceptés à 90 km/h ( $M = 4,50$  s) sont significativement plus courts qu'à 60 km/h ( $M = 5,16$  s).

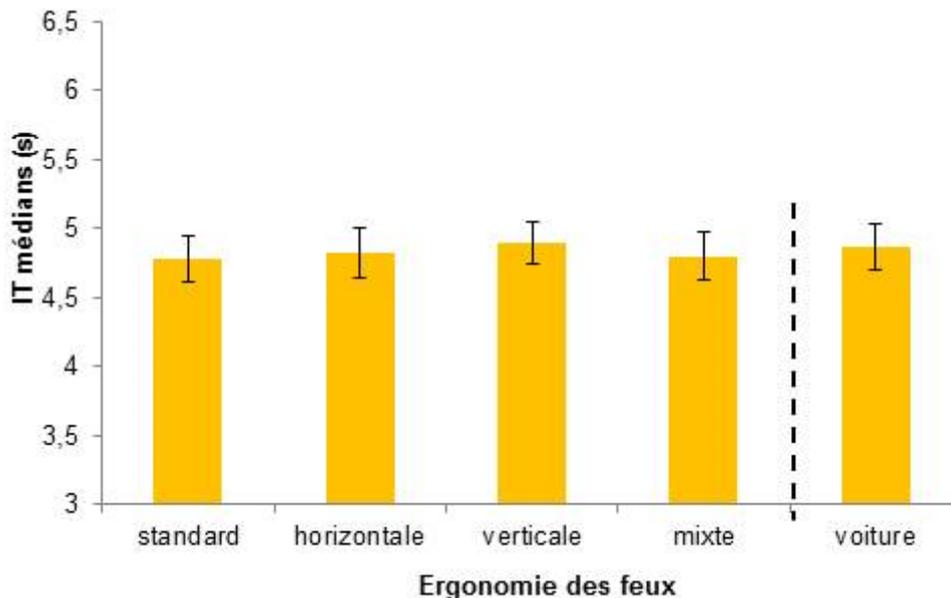


Figure 9. IT médians (s) acceptés en fonction de l'ergonomie des feux en condition de jour.

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

L'interaction entre l'ergonomie des feux et la vitesse des véhicules approchant (Figure 10) est significative [ $F(4,1) = 3,275$  ;  $p < 0,05$  ;  $\eta^2 = 0,13$ ] : l'effet de la vitesse est significatif pour toutes les configurations et types de véhicules. En revanche, que ce soit à 60 ou à 90 km/h, nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre les configurations et types de véhicules sur l'intervalle de temps acceptés (Figure 10).

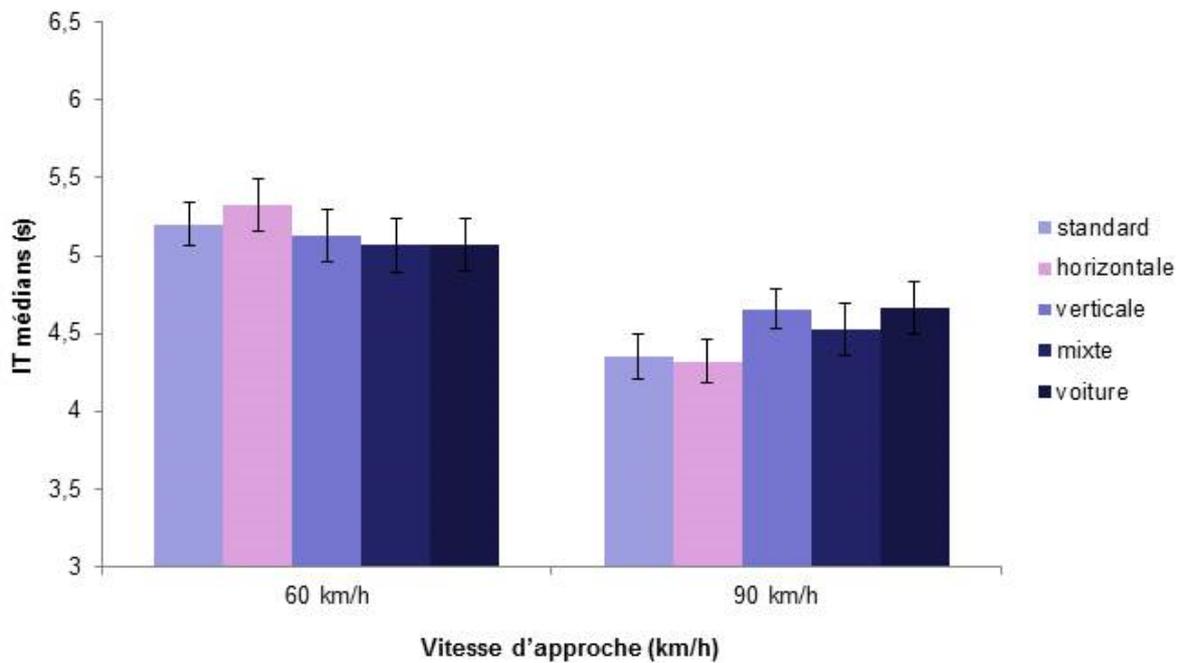


Figure 10. IT médians acceptés (s) en fonction de l'ergonomie de la vitesse des véhicules approchant en condition de jour.

Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types

### 3.3.2 Marge de sécurité

Aucun effet significatif de l'ergonomie des feux [ $F(4, 1) = 0,56$  ;  $p = 0,69$ ] n'a été trouvé. Nous observons un effet significatif de la vitesse sur la marge de sécurité [ $F(1, 1) = 20,19$  ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,48$ ]. Les conducteurs adoptent une marge de sécurité significativement plus courte lorsque la vitesse des véhicules approchant est de 90 km/h ( $M = 2,79$  s) par rapport à 60 km/h ( $M = 3,06$  s). En revanche, nous n'avons pas montré d'interaction Ergonomie des feux<sub>5</sub>\*Vitesse<sub>2</sub> [ $F(4, 1) = 1,80$  ; *ns*].

### 3.3.3 Discussion

En condition diurne, des motos disposant de nouvelles configurations de feux ne permettent pas d'améliorer les intervalles de temps ou les marges de sécurité acceptées par des conducteurs, comparés à des motos avec éclairage standard. Ces résultats rejoignent ceux de Gould et al. (2012b). En effet, les résultats de leur étude montrent un faible bénéfice de la configuration « trois-feux » par rapport à la configuration standard sur la capacité à juger précisément la vitesse du véhicule en condition diurne. Comme pour la condition nocturne et crépusculaire, nous observons un effet de la vitesse : les conducteurs ont un comportement plus risqué à haute vitesse. En effet, les conducteurs acceptaient des intervalles plus courts

lorsque la voiture approchait à plus grande vitesse (90 km/h), c'est à dire lorsque les véhicules approchants étaient plus éloignés au moment de la prise de décision.

## **4. Conclusions**

### ***4.1 Sur le plan théorique***

Si l'on s'intéresse aux différences ergonomiques de ces 3 arrangements, afin de tenter de comprendre quelle(s) caractéristique(s) peuvent être à l'origine de l'effet observé avec les configurations verticale et mixte, une première hypothèse que l'on peut avancer porte sur l'orientation concernée par l'agrandissement : horizontale vs verticale. Il est en effet connu que l'homme est naturellement plus sensible à la verticalité de part la force de gravité, dont la direction est dirigée de haut en bas vers le centre de la terre, sur un axe vertical. Sur terre, la gravité est omniprésente et constitue un invariant directionnel primordial qui ordonne notre environnement naturel, mais également la posture de l'homme. Ainsi nous adoptons une posture verticale et sommes entourés d'éléments verticaux dans notre environnement naturel : arbres, poteaux etc. De plus la gravité est codée spécifiquement par les organes otolithiques de l'oreille interne. En revanche l'orientation horizontale ne correspond directement à aucune référence physique de l'espace et nous ne disposons pas d'organe de codage spécifique. On peut donc émettre l'hypothèse que nous sommes naturellement plus sensibles aux variations verticales qu'horizontales, et que cette sensibilité préférentielle puisse être à l'origine de la différence d'effet obtenu entre les agencements d'éclairage vertical et horizontal.

Une deuxième hypothèse, probablement plus vraisemblable, peut être avancée pour expliquer cette absence d'effet avec la configuration horizontale, et concerne la taille de l'agrandissement. En effet, dans le cas de la configuration verticale l'écart entre les éclairages additionnels situés d'une part sur le casque du motard et d'autre part au niveau de la roue de la moto est supérieur à l'écart situé entre les lampes additionnelles situés aux extrémités du guidon du motard dans le cas de la configuration horizontale (Figure 2B, 2C). De ce fait, la dimension délimitée par l'arrangement vertical est plus importante que la dimension délimitée par l'arrangement horizontal, et cette différence pourrait être à l'origine de la différence d'effet entre les deux configurations.

L'influence des conditions d'illumination peut être expliquée par des différences au niveau de la perception des contours du motorcycle qui étaient bien visibles en condition de

jour, plus difficilement mais toujours visibles en condition crépusculaire, et invisibles en condition nocturne. De ce fait, la taille angulaire des motos (et donc leur vitesse angulaire) en condition crépusculaire a été plus grande que celle en condition nocturne, et il est très probable que le mouvement angulaire des motos à l'approche a été plus facile à percevoir dans ces conditions. De ce fait, l'effet d'agrandissement apparent de la moto et facilitateur de la perception de son mouvement, produit par les configurations verticales, a été moins prononcé en condition crépusculaire qu'en condition nocturne. De même, en conditions de jour, les contours du motocycle ont été clairement visibles et les configurations verticales n'ont pas eu d'effet d'agrandissement apparent et n'ont donc pas apporté un bénéfice de sécurité. D'autres travaux devront être réalisés pour étudier plus en détail l'influence de la taille angulaire des motos et des contrastes feux de motos/contour de moto/environnement et leur interaction.

L'effet de la vitesse sur les décisions de tourner à gauche est bien connu par les travaux sur la perception du temps d'arrivée et l'acceptation de créneaux temporels en conduite et lors de la traversée de rue. Il a été montré que cet effet était médiatisé par la distance du véhicule : pour un même intervalle temporel, le véhicule approchant est d'autant plus loin (et donc de taille angulaire plus petite) que sa vitesse est élevée. Les conducteurs dans notre expérience semblent avoir favorisé les indices de distance en négligeant les indices de vitesse. Ils ont ainsi eu des comportements plus risqués en cas de vitesse élevée et plus d'opportunités de tourner manquées à vitesse faible. Par exemple, dans notre expérimentation, pour un intervalle de 5 s, les véhicules se trouvaient à 56 m de distance à 40 km/h, à 83 m à 60 km/h, et à 125 m à 90 km/h. En se basant de façon préférentielle sur la distance des véhicules à l'approche (et non sur leur temps d'arrivée), les conducteurs acceptaient des intervalles plus souvent lorsque la voiture approchait à plus grande vitesse et était donc plus éloignée au moment de la prise de décision. La vitesse du véhicule approchant n'était que peu ou pas prise en compte dans cette décision, probablement parce que son appréciation était difficile dans le temps imparti. En effet, la vitesse angulaire d'un véhicule éloigné est très faible et difficilement perceptible. Par ailleurs, le temps d'observation de 2,5 s précédant l'ouverture d'un intervalle critique dans la file des voitures approchantes a été relativement court pour permettre au conducteur d'évaluer précisément la vitesse des voitures. En revanche, l'apparente proximité des véhicules approchantes à faible vitesse a pu être à l'origine d'un comportement plus sécuritaire et d'opportunités manquées de tourner.

## ***4.2 Sur le plan de l'application***

Les résultats de cette expérimentation mettent en évidence une influence significative de l'ergonomie des feux sur la taille des intervalles de temps adoptés par les conducteurs pour effectuer une manœuvre de tourne à gauche dans un trafic arrivant en sens opposé. Plus précisément, les conducteurs effectuent des manœuvres plus risquées face à une moto comportant un phare unique central que face à une moto disposant de configurations accentuant la dimension verticale du motocycle. Plus intéressant encore, les créneaux d'insertion choisis face aux deux configurations, "verticale" et "mixte", étaient équivalents à ceux adoptés face aux voitures.

L'effet bénéfique de ces configurations se produit surtout quand la moto arrive à grande vitesse et lorsque le niveau de luminosité est faible, c'est-à-dire dans des conditions où la perception du mouvement du motocycle est particulièrement difficile. Les résultats révèlent un bénéfice de ces configurations en condition crépusculaire et nocturne, alors qu'en condition diurne nous n'avons pas constaté d'effet significatif de l'ergonomie des feux de moto sur les créneaux d'insertion choisis. En condition nocturne, c'est seulement à 60 km/h que les conducteurs adoptent des créneaux d'insertion plus larges face à une moto disposant d'une configuration verticale. En condition crépusculaire, l'avantage apporté par cette configuration est observé seulement à 90 km/h.

En termes d'application, la configuration verticale est sans doute préférable à la configuration mixte, car elle nécessite moins de feux supplémentaires et posera moins de problèmes d'alimentation électrique des sources lumineuses. D'autre part, une configuration plus simple sera aussi plus facilement acceptée par les motocyclistes.

### **III. EXPERIMENTATION 2 : Influence des configurations innovantes sur la détectabilité des motos**

#### **1. Objectifs**

La deuxième expérimentation a pour objectif d'étudier l'influence de l'ergonomie des feux de moto sur la détection et identification du motorcycle par l'automobiliste dans un environnement de voitures comportant des feux de jour. En effet, nous avons montré que les motorcycles sont moins détectables lorsque les feux de jour des voitures sont allumés (Cavallo & Pinto, 2012), et que leur perception par les automobilistes pourrait bénéficier de l'utilisation d'une nouvelle signature visuelle permettant de les distinguer clairement des voitures (Pinto, et al., sous presse).

Le choix des configurations de feux de moto a été déterminé par les résultats de deux de nos recherches antérieures. Tout d'abord, la première expérimentation dans le cadre du présent projet a montré que la configuration verticale était la plus efficace pour améliorer la perception du mouvement du motorcycle et l'acceptation d'intervalles temporels face à lui. Il s'agit donc de tester maintenant si cette configuration est également efficace pour améliorer la détectabilité des motorcycles. D'autre part, nos travaux récents sur la conspécuité des motorcycles (Pinto, et al., sous presse) ont étudié trois configurations innovantes de feux : une configuration « triangle » (un feu standard et deux feux supplémentaire sur le guidon), une configuration « casque » (un feu standard et un feu supplémentaire sur le casque) et une configuration simple avec un « feu jaune standard ». Les résultats montrent que les motorcycles sont mieux détectés lorsqu'ils sont munis d'une configuration « casque » par rapport à la configuration standard, mais surtout que les meilleures performances de détection sont obtenues lorsque les motorcycles sont signalés par un feu standard jaune. Les 4 configurations retenues pour la seconde expérimentation résultent de la combinaison d'une configuration verticale et d'un codage couleur.

L'efficacité de ces 4 configurations sera évaluée dans 3 environnements visuels différents, différents types constitués par différents types de feux de jour des automobiles : des feux de croisement classiques, des feux de jour dédiés (utilisant souvent la technologie des leds et exhibant fréquemment des formes spécifiques), et l'allumage simultanée de ces deux types de feux (cette dernière condition a été ajoutée suite à l'observation qu'un grand nombre de véhicules utilisant les deux feux en même temps). Les feux de jour des

automobiles sont des distracteurs visuels, et la variation de leur nombre et nature permet d'estimer l'ampleur de leur effet de nuisance.

*Nous faisons l'hypothèse qu'une nouvelle signature visuelle des motocycles peut améliorer la détectabilité des motocycles par les automobilistes. Nous supposons qu'un codage couleur sera particulièrement efficace, et que les meilleures performances de détections seront observées lorsque le codage couleur est associé à une configuration verticale.*

## **2. Méthodologie**

### ***2.1. Participants***

Les participants étaient tous des conducteurs réguliers (> 3000 km/an) détenteurs du permis depuis au moins 2 ans et avaient une acuité visuelle minimale de 6/10 (avec ou sans verres correcteurs) conformément aux exigences du code de la route. Leur vue était vérifiée en début d'expérimentation grâce à un test d'acuité visuelle (ERGOVISION). Au total, 57 conducteurs volontaires ont été inclus, répartis en 3 groupes de 19 participants: un groupe dans un environnement de voitures avec LED allumées, un dans un environnement de voitures avec feux de croisement allumés et un autre groupe dans un environnement de voitures avec LED et feux de croisement allumés. Les groupes ont été appareillés en fonction du genre (15 hommes et 4 femmes), de l'âge, de leurs capacités d'attention visuelle (mesurée par le test UFOV), de leur kilométrage parcouru en tant qu'automobiliste et de leur expérience de conduite de moto.

### ***2.2. Matériel***

#### **2.2.1. Mini-simulateur de conduite et scènes visuelles**

La scène visuelle représente l'arrêt de la voiture-sujet à un carrefour. Six différentes vues de carrefour dans un environnement urbain complexe ont été utilisées. Le trafic approchant en face présente 4 files de voitures et parfois un usager vulnérable (un piéton, un motocycliste ou un cycliste). Le motocycliste et le cycliste étaient positionnés entre les files de voitures et approchaient dans la même direction que les voitures. Le piéton était positionné sur le trottoir ou sur les passages piétons et se déplaçait soit dans le même sens que le trafic, soit perpendiculairement à celui-ci. Le trafic motorisé (voitures et motocycles) se déplaçait à 50 km/h, les cyclistes à 15 km/h et les piétons à 5 km/h.

Le trafic approchant est présenté sur l'écran central HDR (voir Expérimentation 1 pour la description des caractéristiques de l'écran). Les images sont générées par un PC (environnement Windows / bibliothèque graphique Open Scene Graph avec une carte GeForce 680 GTX).

### 2.2.2. Documents utilisés

Au cours de l'expérience, chaque sujet a dû remplir et/ou signer 3 documents :

- Une notice d'information relative à la recherche
- Un formulaire de consentement libre et éclairé
- Un questionnaire visant à recueillir des informations d'ordre général sur le conducteur : données démographiques, habitudes de conduite, etc.

## 2.3. Tâche

Le participant était installé au volant du simulateur mais il ne conduisait pas. A chaque essai, il devait d'abord fixer une croix se trouvant au centre de l'écran, et puis observer une courte séquence vidéo pendant 250 ms. La tâche du participant consistait à détecter le plus rapidement possible s'il y a ou non un usager vulnérable et à déterminer quel est le type d'usager vulnérable qu'il a précédemment vu (piéton, cycliste, motard). Il devait donner une réponse orale : piéton, motard, cycliste ou rien. C'est le participant qui décidait de passer à l'essai suivant en appuyant sur un bouton situé sur le volant.

## 2.4 Protocole expérimental

Chaque essai contenait 4 files de véhicules arrivant dans la voie opposée à celle du participant et un usager vulnérable (piétons, motocycles, cyclistes).

### 2.4.1. Variables expérimentales

La variable inter-sujet était la variable *Environnement de feux de voitures* à 3 modalités (Photo 6) :

- 1) environnement de voitures avec leds allumés
- 2) environnement de voitures avec feux de croisement allumés
- 3) environnement de voiture avec leds et feux de croisement allumés

Chacun des trois groupes de participants a été soumis à un des trois environnements visuels.

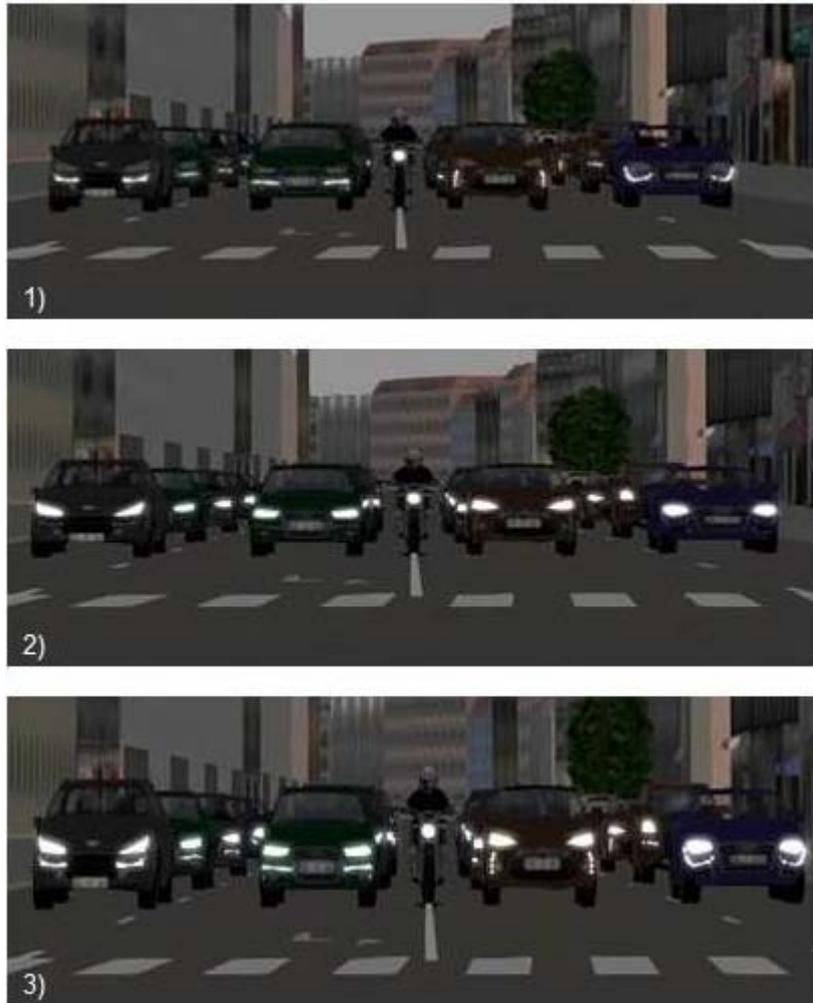


Photo 6 : capture d'écran des 3 environnements de voitures

Il y avait 3 variables intra-sujets :

**Configurations des feux avant de moto.** Quatre configurations ont été testées. Elles résultent de la combinaison de la configuration verticale (dont l'efficacité a été mise en évidence lors de l'expérience 1) avec un codage couleur (dont l'utilité a été prouvé antérieurement, cf. Pinto, et al., sous presse). Nous avons ainsi comparé des feux standards blanc et jaune, et des configurations verticales avec des feux blancs et jaunes (Figure 11).

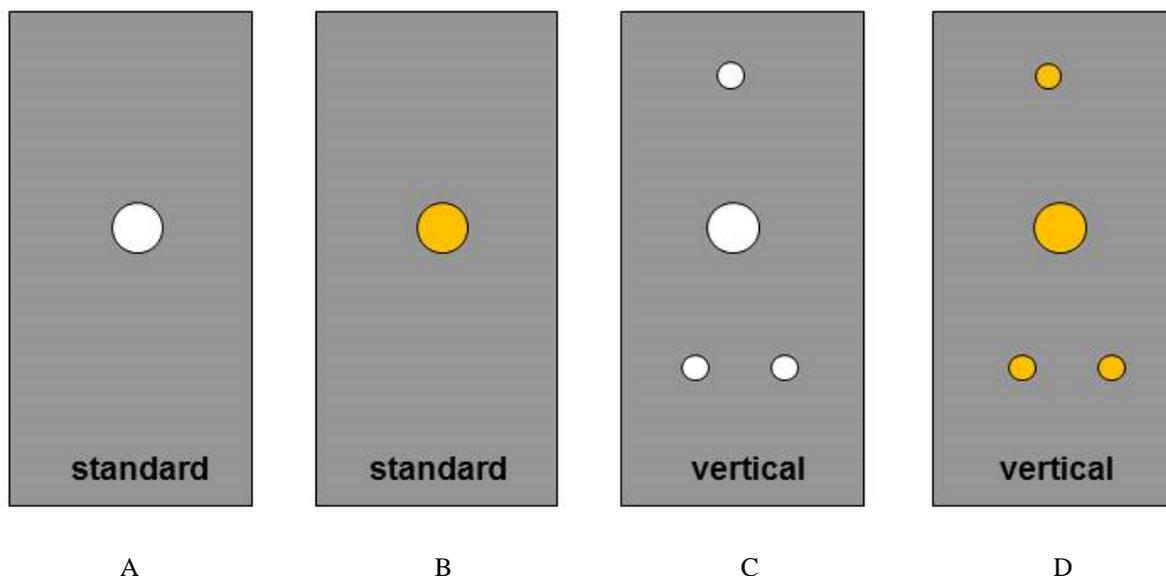


Figure 11 : Représentation schématique des différentes configurations d'éclairage frontal des motos, A) standard blanc, B) standard jaune C) vertical blanc, et D) vertical jaune.

Les participants d'un même groupe avec un environnement donné de feux de voitures devaient réaliser 4 blocs d'essais. Chaque bloc comprenait une moto disposant d'une configuration innovante (Bloc 1 : standard blanc/ Bloc 2 : standard jaune / Bloc 3 : verticale blanc / Bloc 4 : verticale jaune).

**Distance.** La distance des motos dans la scène visuelle par rapport à la position simulée du conducteur peut avoir une influence sur la détection des motos. La variable distance a 2 modalités : loin ou proche.

**Excentricité.** L'excentricité de la position du motorcycle dans la scène visuelle peut également avoir une influence sur la détection des motos. La variable excentricité a 2 modalités : centrée ou sur les côtés (avec la moitié à droite ou la moitié à gauche)

**Usager vulnérable.** Trois types d'usagers ont été utilisés: des motos dont la détection nous intéresse plus particulièrement; des cyclistes et des piétons qui ont été introduits à titre de distracteurs pour éviter que les participants ne focalisent leur attention uniquement sur les motocyclistes.

#### 2.4.2. Répartition des essais par bloc

L'expérimentation s'est déroulée selon le plan expérimental suivant :

$S_{19} < \text{Environnement de feux de voitures}_3 > \text{ Configuration de feux de motos}_4 * \text{ Distance}_2 * \text{ Excentricité}_2 * \text{ Usager vulnérable}_3$

Pour chaque groupe "environnement de feux de voitures", les essais ont été présentés par blocs en fonction des 4 configurations de feux de moto. Chaque bloc contient 12 conditions expérimentales résultant de la combinaison des variables distance, excentricité et usager vulnérable ( $2*2*3$ ). Chaque condition expérimentale a été répétée 6 fois. Au total, il y a 72 essais dans un bloc. 108 distracteurs ont été ajoutés. Parmi eux, 18 essais contenaient un usager vulnérable localisé à des distances différentes de celles utilisés dans les essais expérimentaux. Au total, 90 essais présentaient une cible. Afin de s'assurer que la réponse n'est pas liée au hasard, 90 essais distracteurs où il n'y a pas d'usager vulnérable (50%) ont été ajoutés. Au total, nous avons 180 essais par bloc. Pour chaque environnement de feux de voitures, 4 blocs de 180 essais ont été présentés (720 essais au total par participant). L'ordre de passation des blocs a été contrebalancé.

## ***2.5 Procédure***

A leur arrivée, les participants commençaient par lire « la notice d'information relative à la recherche » et signer « le formulaire de consentement libre et éclairé ». Chaque participant effectuait alors le test d'acuité visuelle, afin de vérifier le critère de 6/10 en vision binoculaire, ainsi que le test UFOV pour vérifier les performances d'attention visuelle.

Le participant lisait ensuite les instructions de l'expérimentation. Une fois installé au volant du mini-simulateur, l'expérimentateur lui rappelait à haute voix les instructions. Afin de vérifier que les consignes étaient bien comprises, le participant effectuait dans un premier temps 12 essais lui permettant de se familiariser avec l'expérimentation. Les quatre blocs d'essais étaient ensuite présentés au participant. Les phases de familiarisation et d'expérimentation se déroulaient dans une pièce obscurcie. La session se terminait par le remplissage d'un questionnaire permettant de recueillir des informations d'ordre général sur les participants (date d'obtention du permis de conduite, nombre de km parcourus par an, etc...).

La session expérimentale durait environ 1 heure 30 et se décomposait comme ceci : 5 minutes pour le test visuel, 5 minutes pour la lecture et la signature des divers documents, 15 minutes pour le test de l'UFOV, 5 min pour se familiariser avec le protocole et 50 minutes

environ de passation des blocs expérimentaux. Le participant pouvait faire des pauses à n'importe quel moment. Des pauses entre chaque bloc étaient réalisées.

## ***2.6 Traitement des données***

Pour les essais contenant un motocycle, le nombre de détections correctes, les erreurs d'identifications et les omissions ont été déterminés. Une détection correcte est comptée lorsque l'usager vulnérable est correctement identifié. Une erreur d'identification est mesurée lorsqu'un usager vulnérable est détecté mais pas correctement identifié. Une omission a lieu lorsque l'usager vulnérable n'est pas du tout détecté. Pour les essais distracteurs (ceux qui ne contenaient pas d'usager vulnérable), les fausses détections et les non-détections correctes ont été mesurées. Les fausses détections apparaissent lorsque le participant a détecté un usager vulnérable alors qu'aucun usager vulnérable n'est présent dans l'environnement. Les non-détections correctes ont lieu lorsque l'usager vulnérable n'est pas présent dans la scène et donc pas détecté.

Seules les détections correctes ont été analysées en utilisant le modèle logistique binaire d'équations d'estimations généralisées (GEE) afin de contrôler l'hétérogénéité non observée. Ce modèle prend en compte la dépendance entre les mesures répétées. Les effets principaux et les effets d'interaction inclus dans le modèle sont les suivants :

- Configuration de feux de motos
- Environnement de feux de voiture
- Distance
- Excentricité
- Configuration des feux de motos \* Environnement de feux de voiture
- Configuration des feux de motos \* Excentricité

Les comparaisons de moyennes porteront sur les moyennes marginales estimées. Les tests de comparaison multiple seront effectués en incorporant les corrections de Bonferroni. Les analyses sont réalisées avec le logiciel de statistiques SPSS 17.0. Le seuil de significativité est à 0,05.

### **3. Résultats**

#### ***3.1 Résultats descriptifs***

Les taux (exprimés en pourcentage) pour les différentes catégories de réponses sont présentés en fonction des trois environnements de feux de voitures (leds, feux de croisement, feux de croisement et leds) (Tableau 2 ci-dessous).

Tableau 2. Les différentes catégories de réponse observées en fonction de l'environnement des feux de voitures

Environnement de voitures avec leds allumés								
	Essais Motocycles				Distracteurs			
Détections	<b><u>Détection correctes</u></b>				<b><u>Fausse détections</u></b>			
	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune
	62,94	88,16	63,82	93,20	1,70	1,11	2,81	1,46
	<b><u>Erreurs d'identification</u></b>							
Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune					
3,07	0,44	3,07	0,88					
Non-Détections	<b><u>Omissions</u></b>				<b><u>Non détections correctes</u></b>			
	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune
	33,99	11,40	33,11	5,92	98,30	98,89	97,19	98,54

Environnement de voitures avec feux allumés								
	Essais Motocycles				Distracteurs			
Détections	<b><u>Détection correctes</u></b>				<b><u>Fausse détections</u></b>			
	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune
	60,31	77,41	63,60	91,23	3,10	2,40	2,92	2,28
	<b><u>Erreurs d'identification</u></b>							
Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune					
3,29	2,41	2,41	0,66					
Non-Détections	<b><u>Omissions</u></b>				<b><u>Non détections correctes</u></b>			
	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune	Standard Blanc	Standard Jaune	Verticale Blanc	Verticale Jaune
	36,40	20,18	33,99	8,11	96,90	97,60	97,08	97,72

Environnement de voitures avec feux et leds allumés								
	Essais Motocycles				Distracteurs			
Détections	<b><u>Détection correctes</u></b>				<b><u>Fausse détections</u></b>			
	Standard Blanche	Standard Jaune	Verticale Blanche	Verticale Jaune	Standard Blanche	Standard Jaune	Verticale Blanche	Verticale Jaune
	55,26	70,39	58,77	82,02	3,39	2,28	3,51	2,75
	<b><u>Erreurs d'identification</u></b>							
Standard Blanche	Standard Jaune	Verticale Blanche	Verticale Jaune					
3,95	4,39	4,82	2,41					
Non-Détections	<b><u>Omissions</u></b>				<b><u>Non détections correctes</u></b>			
	Standard Blanche	Standard Jaune	Verticale Blanche	Verticale Jaune	Standard Blanche	Standard Jaune	Verticale Blanche	Verticale Jaune
	40,79	25,22	36,40	15,57	96,61	97,72	96,49	97,25

### 3.2 Analyse GEE

Tableau 3 : Résultats issus de modèle d'équations d'estimations généralisées (GEE).

Variables	Khi-deux	Sig.
Ergonomie des feux de motos	51,067	,000
Environnement de feux de voitures	12,189	,002
Distance	,530	,466
Excentricité	98,035	,000
Ergonomie des feux de motos * Environnement de feux de voitures	13,656	,034
Ergonomie des feux de motos * Excentricité	10,654	,014

#### *Effet des configurations de feux de motos*

L'analyse a révélé un effet significatif de la configuration de feux de motos sur le nombre de détections correctes (Figure 12). Les comparaisons par paires montrent que les participants détectent significativement mieux ( $p < 0.001$ ) la moto lorsque celle-ci dispose d'un feu standard jaune (79 %) ou d'une configuration verticale jaune (89 %) par rapport à celle muni d'un éclairage standard blanc (60 %). Les conducteurs détectent également plus de motocycles avec un éclairage standard jaune ou avec une configuration verticale jaune par rapport à celle qui ont une configuration verticale blanche (79 % vs 62 %,  $p < 0.001$  ; 89 % vs 62 %,  $p < 0.001$ , respectivement). Nous n'avons pas montré de différence significative en termes de détections correctes entre la moto disposant d'un éclairage standard blanc et celle disposant d'une configuration verticale de couleur blanche, ni entre les configurations standard jaune et verticale jaune.

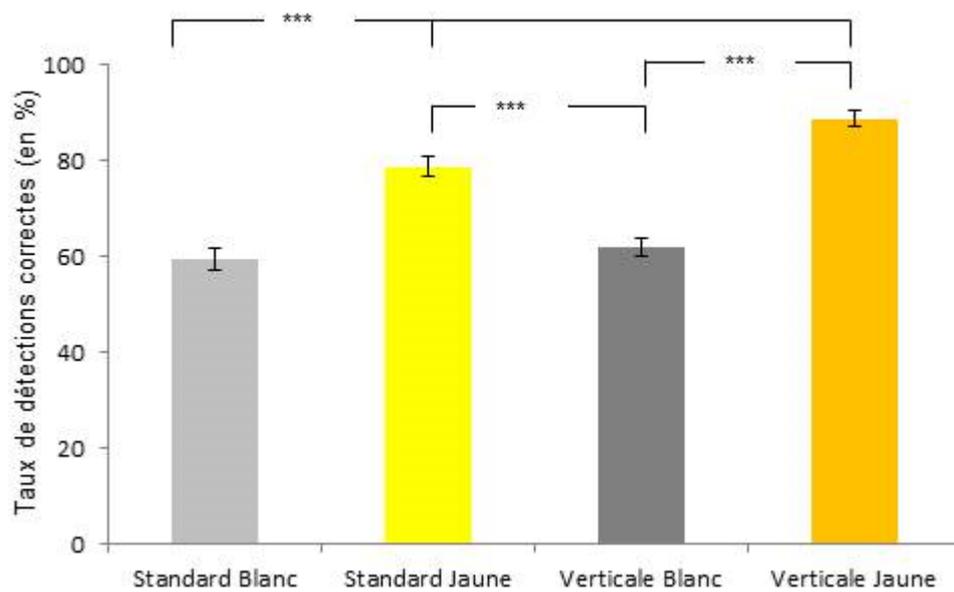


Figure 12 : Taux de détections correctes en fonction des configurations de feux de motos (\*\*\*)  $p < 0.001$ )

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

### ***Effet de l'Environnement de feux de voitures***

Les résultats du modèle GEE ont montré un effet significatif du groupe sur le nombre de détections correctes (Figure 13). Les comparaisons par paire révèlent que le groupe avec environnement de voitures avec leds allumés détectent mieux les motos par rapport à ceux qui ont un environnement de voitures avec leds et feux de croisement allumés (77 % vs 67 %,  $p < 0,05$ ). L'environnement comportant uniquement des feux de croisement allumés (73 %) ne se distingue pas significativement des autres.

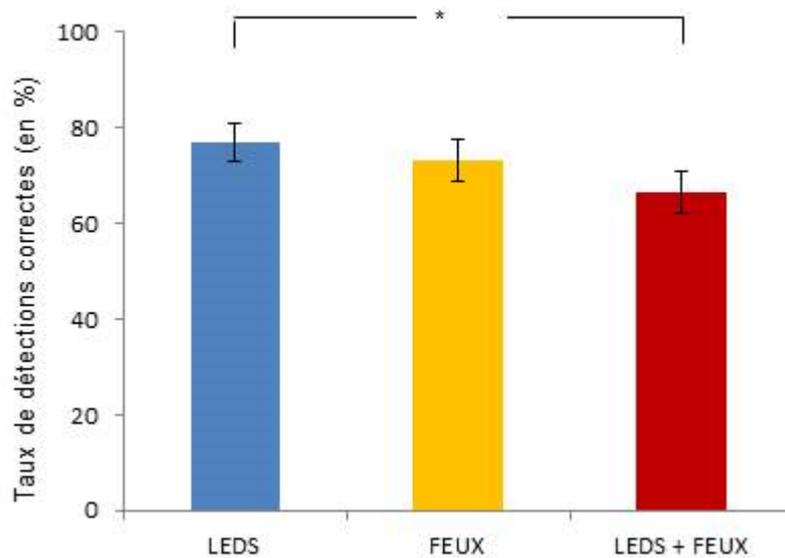


Figure 13 : Taux de détections correctes en fonction de l'Environnement de feux de voitures (\*  $p < 0,05$ )

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

### ***Effets de la distance et de l'excentricité***

Les motos étaient significativement plus détectées lorsqu'elles étaient positionnées au centre (95 %) plutôt qu'excentrées (49 %). Contrairement aux résultats attendus, nous n'observons pas d'effet significatif de la distance sur le nombre de détections des motos : les motos étaient aussi bien détectées lorsqu'elles étaient proches (72 %) que loin (72 %).

### ***Effet des configurations de feux de motos en fonction de l'environnement de feux de voitures***

L'interaction entre les variables Configuration de feux de motos et Environnement de feux de voitures est significative. Pour l'environnement de voitures avec leds, les participants détectent significativement plus de motos lorsque la moto dispose d'une configuration verticale jaune (93 %) et standard jaune (88 %) par rapport à celle munie d'un éclairage standard blanc (63 %) ( $p < 0,01$ ) ou verticale blanc (64 %) ( $p < 0,01$ ). Pour l'environnement de voitures avec feux de croisement allumés, seule la configuration verticale jaune permet de détecter significativement plus de motos que la configuration standard blanche (91 % versus 60 %,  $p = 0,001$ ). Pour l'environnement de voitures avec feux et leds allumés, nous n'avons pas trouvé de différence significative en termes de taux de détection entre les

configurations verticale jaune, verticale blanche et standard jaune par rapport à la configuration standard blanche (voir Figure 14).

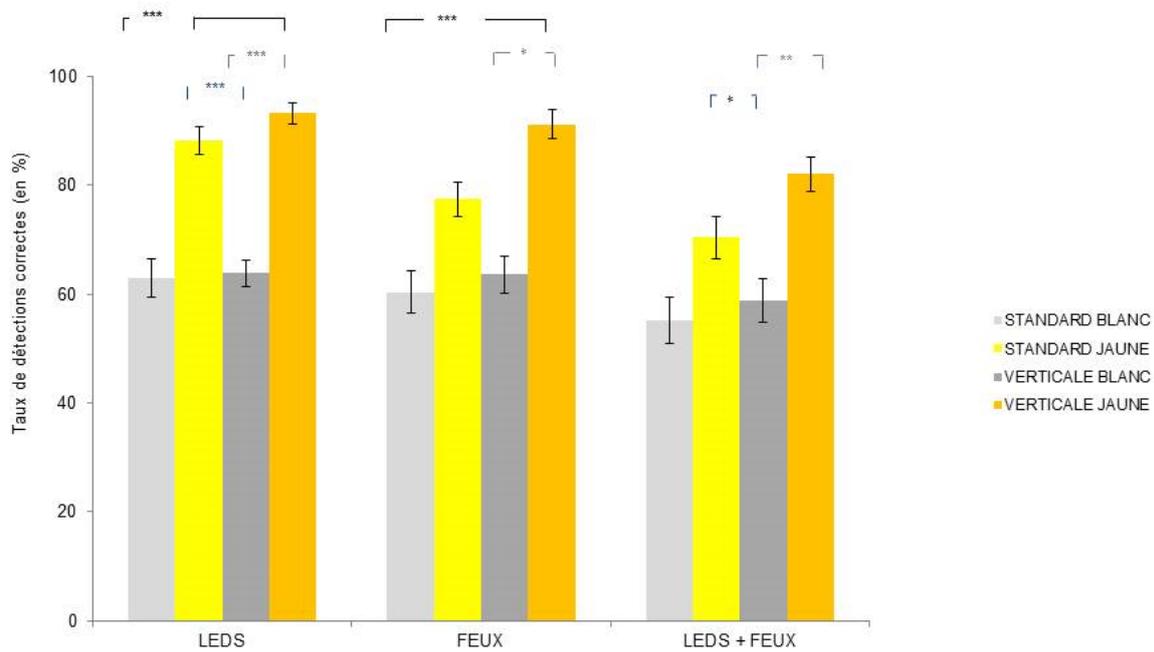


Figure 14. Taux de détections correctes en fonction de l'ergonomie des feux et du groupe (\*\*\*)  $p < 0,001$ ,  
\*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ )

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

### ***Effet des configurations de feux de moto en fonction de l'excentricité***

L'interaction significative entre les configurations des feux de moto et l'excentricité montre que l'effet de la configuration de feux de moto est uniquement observé lorsque le motorcycle est en position excentrée. En effet, les participants détectent plus de motorcycles avec la configuration verticale jaune (80 %) et standard jaune (59 %) que celles avec un éclairage standard blanc (29 %) lorsque le motorcycle est en position excentrée. Les résultats montrent également que les participants détectent plus les motorcycles avec une configuration verticale jaune par rapport à celles munies d'un éclairage standard jaune. Les configurations de feux de moto n'ont pas d'effet significatif lorsque le motorcycle est positionné au centre de l'écran (voir Figure 15).

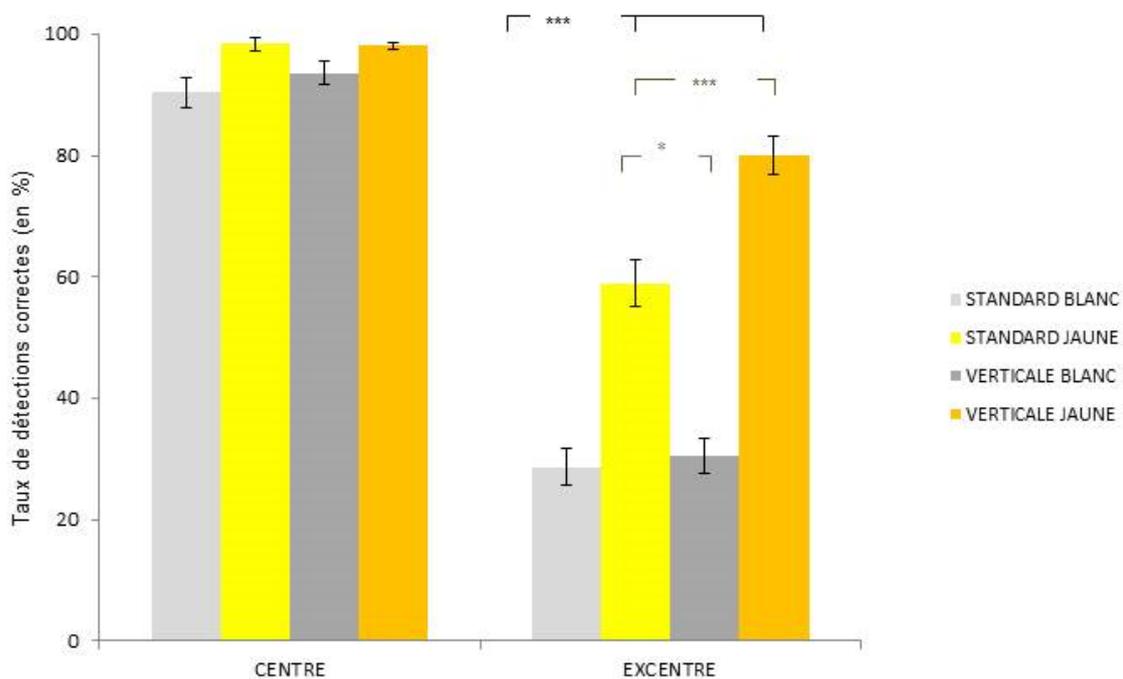


Figure 15. Taux de détections correctes en fonction de l’ergonomie des feux et de l’excentricité (\*\*\*)  $p < 0,001$

*Nb : Les barres verticales représentent les erreurs types*

### 3.3. Discussion

L’objectif de cette expérimentation était d’étudier l’influence de nouvelles configurations de feux de moto sur la détection des motocycles par les conducteurs. L’efficacité de ces configurations a été évaluée dans trois environnements de feux de voitures constituant des distracteurs visuels. Les résultats mettent en évidence une influence significative de l’ergonomie des feux sur le nombre de détections correctes. En effet, les conducteurs détectent plus de motocycles lorsque celles-ci ont un éclairage standard de couleur jaune ou une configuration verticale jaune par rapport à celles avec un éclairage standard blanc ou avec une configuration verticale blanche. Ceci indique que l’éclairage de couleur jaune permet spécifiquement d’améliorer l’identification du motocycle par le conducteur, en le distinguant clairement des autres sources lumineuses de l’environnement. Ces résultats confirment nos travaux antérieurs montrant une meilleure détection des motocycles avec un feu standard jaune en condition statique, (i.e., sur des photographies, Pinto, et al., sous presse). Ils sont

également en accord avec les études qui ont montré que le codage couleur réduisait le temps de recherche visuelle et augmentait le nombre de réponses correctes (Christ, 1975; Nowell, 1997).

Le bénéfice de la couleur jaune - avec un avantage pour les configurations standard jaune et verticale jaune - se produit surtout lorsque les conducteurs doivent détecter le motocycle dans un environnement de voitures munies de leds. Dans l'environnement visuel constitué de feux de croisement, c'est la configuration verticale jaune qui permet de détecter significativement plus de motocycles par rapport à un éclairage standard de couleur blanche, alors que le feu standard jaune n'améliore pas significativement la détectabilité des motocycles. La configuration verticale jaune (feux jaunes additionnels sur le casque et au niveau des fourches) produit donc un gain par rapport au standard jaune, en améliorant la détection et l'identification du motocycle dans un environnement visuel plus complexe. On peut supposer que cet effet bénéfique est dû à la position élevée du feu sur le casque du motard, comme suggéré par nos travaux antérieurs (Pinto, et al., sous presse), mais d'autres recherches sont nécessaires pour expliquer plus précisément la supériorité de la configuration verticale jaune. Dans l'environnement visuel le plus complexe, constitué de feux de croisement et de leds, les deux configurations jaunes apportent également un bénéfice par rapport à la configuration verticale blanche.

Nous avons vu que l'environnement lumineux constitué de leds semble être le moins distracteur pour les motocycles. Ceci est probablement dû aux formes spécifiques de ces feux (traits verticaux et horizontaux, vagues, triangles, etc.) qui se distinguent assez facilement de celles des motocycles. En revanche, les feux de croisement des voitures ont des formes plus semblables à celles des feux de moto. Cette plus grande similitude entre les feux des voitures et celles des motos explique pourquoi les motos ont été moins bien détectées dans cet environnement lumineux. En ce qui concerne des environnements visuels encore plus complexes, c'est-à-dire lorsque les voitures allument en même temps leurs feux de jour et de croisement, l'effet des distracteurs visuels est très important. Dû au grand nombre de sources lumineuses, cet effet nuisible n'a pu être que très partiellement amélioré par les configurations innovantes.

Dans cette recherche, l'effet bénéfique des deux configurations jaunes (standard jaune et verticale jaune) se produit surtout lorsque la moto est en position excentrée dans la scène

routière. Aucun effet de l'ergonomie des feux de motos n'est observé lorsque la moto se situe au centre de la scène routière, où elle est très facilement détectée (entre 90 et 100 %), quelle que soit sa configuration de feux avant. La présente étude montre également que l'éclairage jaune des feux de motos permet une meilleure détection du motorcycle aussi bien lorsque celui-ci se situe loin que proche. Nos travaux récents (Pinto, et al., sous presse) montraient un effet bénéfique de l'éclairage jaune seulement lorsque les motorcycles étaient au centre de la scène routière et lorsqu'elles étaient éloignées. Cette divergence de résultats peut être expliquée par les méthodes expérimentales utilisées. Dans cette étude, nous utilisons des séquences d'images générées, alors que dans notre précédente étude des photographies de scènes routières étaient présentées. Les images générées sont moins complexes que les photos et contiennent des informations de mouvement. On peut supposer que ces deux éléments ont influencés la détectabilité des motorcycles.

#### **4. Conclusions**

Les résultats de la présente recherche montrent que l'éclairage jaune des feux avant de moto permet d'améliorer la détection et l'identification des motorcycles par l'automobiliste. L'effet bénéfique de l'éclairage jaune se produit surtout lorsque le motorcycle est excentré dans la scène visuelle et lorsque celui-ci se trouve en présence de voitures avec des leds allumés uniquement. La configuration verticale jaune s'est avérée plus performante que la configuration standard jaune, puisqu'elle a été montrée bénéfique dans des environnements visuels plus complexes lorsque les conducteurs devaient détecter des motos au sein de voitures avec les feux de croisement allumés ou dans des environnements visuels comportant des leds et des feux de croisement allumés. La configuration verticale jaune combine les avantages d'un codage couleur et ceux d'une configuration avec un feu haut-placé. Elle permet la meilleure détection et identification des motorcycles et peut être recommandée en termes d'application. Cependant, nos travaux ne permettent pas de savoir si c'est surtout la position en hauteur du feu jaune qui a été décisive, ou si c'est l'ensemble de la configuration verticale jaune (y compris les feux additionnels sur la fourche) qui permet l'amélioration de la détectabilité du motorcycle.

La présente étude montre aussi que les distracteurs visuels constitués par les feux de voitures allumés en condition diurne ont un effet nuisible sur la détection et identification des motorcycles. L'effet de compétition produit par ces sources lumineuses est d'autant plus

prononcé que le nombre de feux est élevé, c'est-à-dire lorsque les voitures allument simultanément les feux de jour et les feux de croisement. Dans ces conditions, même la solution ergonomique la plus performante, c'est à dire la configuration verticale jaune, ne permet que très partiellement de contrecarrer l'effet nuisible produit par les feux de voitures.

Nos résultats indiquent par ailleurs qu'une meilleure réglementation de l'utilisation des feux de jour (leds) par les voitures serait fortement souhaitable. Notamment, l'utilisation simultanée des feux de jour et des feux de croisement par les voitures est un important facteur de distraction et devrait être proscrit. En effet, l'allumage de ces deux types de feux répond à des demandes en informations visuelles différentes. Les feux de croisement permettent de signaler la présence d'un véhicule **et en même temps** d'éclairer la route et la signalisation en condition de visibilité restreinte (conditions crépusculaires et nocturnes). En condition diurne, l'allumage des feux de croisement pour éclairer la route et la signalisation n'est pas nécessaire, et le seul allumage des feux de jour (leds) est suffisant pour signaler la présence d'une voiture. Sur le plan ergonomique, les constructeurs et équipementiers automobiles pourraient prévoir une utilisation exclusive de l'un ou l'autre des deux types d'éclairage avant de voitures.

## IV. CONCLUSION GENERALE

Les deux expérimentations réalisées dans le cadre du présent projet ont permis d'apporter des éléments de réponse quant à la possibilité d'améliorer la perception des motocycles par les automobilistes. Rappelons que nous avons cherché à pallier les deux erreurs perceptives les plus fréquentes commises par les automobilistes quand ils interagissent avec des motocyclistes, à savoir la mauvaise perception du mouvement menant à une surestimation du temps disponible face au motocycle approchant, et la non-détection ou détection tardive du motocycle.

Nous avons vu que la perception du mouvement (et du temps d'arrivée) du motocycle en conditions nocturnes et crépusculaires est notablement améliorée par l'agrandissement des dimensions apparentes du motocycle. Cet agrandissement a été obtenu par une configuration frontale constitué d'un feu central, de deux feux supplémentaires sur la fourche et d'un feu supplémentaire sur le casque du motard. En conditions diurnes, en revanche, cette configuration accentuant la dimension verticale du motocycle n'apporte pas de gain par rapport au feu central standard qui est simultanément visible avec la silhouette du motocycle.

En ce qui concerne la détectabilité des motocycles, nos résultats suggèrent qu'un codage de couleur jaune est particulièrement bénéfique lorsqu'il est associé à un feu supplémentaire positionné en hauteur, c'est-à-dire sur le casque du motocycliste, ou alors s'il fait partie d'une configuration verticale plus complète comprenant non seulement un feu sur le casque, mais aussi des feux sur la fourche et formant ainsi une "gestalt" facilement reconnaissable. D'autres travaux devront préciser si les feux sur la fourche sont indispensables pour obtenir une meilleure conspécuité du motocycle.

En termes d'application, nos résultats suggèrent un aménagement ergonomique des feux avant de moto qui réunit les avantages des deux configurations les plus performantes: un arrangement vertical de couleur jaune, constitué d'un feu central, de deux feux sur la fourche et d'un feu sur le casque du motocycliste. Cette configuration est sans doute la plus efficace en conditions nocturnes et crépusculaires. Des travaux ultérieurs devront déterminer si des feux sur la fourche du motocycle sont nécessaires ou non en condition diurne. Si cela n'est pas le cas, un allumage partiel de la configuration pourrait être envisagé en fonction des conditions d'illumination.

La solution ergonomique proposée à l'issue du présent projet présente l'avantage d'être moins complexe que la configuration sous forme d'un T préconisée par Rössger et al. (2012). La configuration verticale jaune est d'un niveau de complexité raisonnable et semble ergonomiquement réaliste. Cependant, d'autres solutions ergonomiques proposées, comme par exemple un feu clignotant sur le casque du motard (Gershon & Shinar, 2013), mériteraient d'être également considérées et étudiées plus en détail du point de vue de leur capacité à pallier simultanément les deux erreurs perceptives des automobilistes. L'association d'une configuration verticale avec un feu clignotant sur le casque pourrait également être une solution intéressante.

L'implémentation de la configuration verticale jaune sur des motocycles soulève aussi la question de l'efficacité d'un phare de couleur jaune pour l'éclairage de la route et de la signalisation (notamment la perception de la couleur des panneaux et des objets routiers). Il reste à déterminer si un phare jaune peut apporter un éclairage de qualité équivalente à celle d'un phare blanc. Si un phare jaune ne s'avérait pas suffisamment efficace, une configuration mixte avec un feu central blanc et des feux supplémentaires jaunes pourrait être envisagée.

Une autre question également plus technique concerne aussi celle de l'alimentation électrique des sources lumineuses supplémentaires et son impact sur la consommation d'essence de la moto. Cependant, la solution pourrait être l'utilisation de la technologie des leds qui est très peu consommatrice en énergie et peu encombrante. Il a même été montré que des piles pouvaient facilement être intégrées dans le casque du motard sans trop l'alourdir (Müller, Krautscheid, Oberlader, Kryzinski, and Rößger, 2011).

Concernant la validité des deux expérimentations, il convient de noter que nous avons utilisé des techniques performantes de restitution visuelle (High Dynamic Range) permettant une bonne reproduction des contrastes dans la scène visuelle. Cependant, des investigations en conditions réelles (sur piste ou en conditions réelles de trafic) sera une étape nécessaire pour confirmer, et peut-être affiner, ces résultats. Cette étape nous paraît d'autant plus indispensable que nous souhaitons entreprendre des démarches auprès des constructeurs de motocycles, des associations de motards ainsi que de législateurs français et européens, afin *in fine* d'arriver à adapter la réglementation concernant les feux avant de motocycle.

## BIBLIOGRAPHIE

- ACEM. (2009). *In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers (MAIDS)*.
- Binder, S., Perel, M., Pierowicz, J., Gawron, V., & Wilson, G. (2005, September 27-28th). *Motorcycle conspicuity and the effects of motor vehicle fleet daytime running lights (DRLs)*. Paper presented at the International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany.
- Cavallo, V., Mestre, D., & Berthelon, C. (1997). Time-to-collision judgements: Visual and spatio-temporal factors. In J. A. Rothengatter & V. Carbonell (Eds.), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application* (pp. 97-111). Amsterdam: Pergamon.
- Cavallo, V., & Pinto, M. (2012). Are car daytime running lights detrimental to motorcycle conspicuity? *Accident Analysis & Prevention*, 49(0), 78-85.
- Christ, R. E. (1975). Review and analysis of color coding research for visual displays. *Human Factors*, 17(6), 542-570.
- Cooper, D. F., Storr, P. A., & Wennell, J. (1977). Traffic studies at T-junctions: 4. The effect of speed on gap acceptance and conflict rate. *Traffic Engineering and Control*, 18, 110-112.
- Dahlstedt, S. (1986). *A comparison of some daylight motorcycle visibility treatments* (No. 302A). Linköping, Sweden: VTI.
- DeLucia, P. R. (1991). Small near objects can appear farther than large far objects during object motion and self motion: Judgments of object-self and object-object collisions. In P. J. Beek, R. J. Bootsma & P. C. W. van Wieringen (Eds.), *Studies in Perception and Action* (pp. 94-100). Amsterdam, the Netherlands: Rodopi.
- Dommes, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Aillerie, I. (2012). Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 42-47.
- Gershon, P., & Shinar, D. (2013). Increasing motorcycles attention and search conspicuity by using Alternating-Blinking Lights System (ABLS). *Accident Analysis & Prevention*, 50(0), 801-810.
- Gould, M., Poulter, D. R., Helman, S., & Wann, J. P. (2012a). Errors in judging the approach rate of motorcycles in nighttime conditions and the effect of an improved lighting configuration. [doi: 10.1016/j.aap.2011.08.012]. *Accident Analysis & Prevention*, 45(0), 432-437.
- Gould, M., Poulter, D. R., Helman, S., & Wann, J. P. (2012b). Judgments of approach speed for motorcycles across different lighting levels and the effect of an improved tri-headlight configuration. *Accident Analysis & Prevention*, 48(0), 341-345.
- Hendtlass, J. (1992). Appendix C: Literature review. Daytime running lights *Social Development Committee Inquiry into Motorcycle Safety in Victoria*. Melbourne, Australia: Parliament of Victoria
- Horswill, M. S., Helman, S., Ardiles, P., & Wann, J. P. (2005). Motorcycle accident risk could be inflated by a time to arrival illusion. *Optometry and Vision Science*, 82(8), 740-746.
- Hurt, H. H. J., Ouellet, J. V., & Thom, D. R. (1981). *Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures, Volume 1* (No. Technical report HS-5-01160). Washington DC: NHTSA, U.S. Department of Transportation.
- IRTAD. (2011). *Road safety. Annual Report*.

- Janoff, M. S., & Cassel, A. (1971). Effect of daytime motorcycle headlight laws. on motorcycle accidents. *Highway Research Record*, 377, 53-63.
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis and Prevention*, 39(5), 934-943.
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2009). The effects of aging on street-crossing behavior: From estimation to actual crossing. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 259-267.
- Maruyama, K., Tsutsumi, Y., & Murata, Y. (2009, 15 – 18 June 2009 ). *Study Of Face Design, Lighting System Design For Enhanced Detection Rate Of Motorcycles* Paper presented at the 21st International Technical Conference On the Enhanced Safety of Vehicles, Stuttgart, Germany
- Müller, M., Krautscheid, R., Oberlader, M., Krzywinski, J., & Rößger, L. (2011). Evaluation results for the improvement of PTWs conspicuity: Recommendations and improvements for conspicuity. 2-Wheeler Behaviour and Safety deliverable (WP 5.3 - D19), [http://www.2besafe.eu/sites/default/files/deliverables/2BES\\_D19\\_EvaluationResultsForTheImprovementOfPTWsConspicuityPTWsVisualConspicuity.pdf](http://www.2besafe.eu/sites/default/files/deliverables/2BES_D19_EvaluationResultsForTheImprovementOfPTWsConspicuityPTWsVisualConspicuity.pdf).
- Nowell, L. T. (1997). Graphical Encoding for Information Visualization: Using IconColor, Shape, and Size to Convey Nominal and Quantitative Data. Unpublished doctoral dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Olson, P. L., Halstead-Nussloch, R., & Sivak, M. (1981). The effect of improvements in motorcycle/motorcyclist conspicuity on driver behavior. *Human Factors*, 23(2), 237-248.
- ONSIR. (2009). Évolution du nombre de victimes par catégories d'usagers *Le bilan de la sécurité routière 2009*. Paris, France: La documentation française.
- ONSIR. (2011). La sécurité routière en France bilan de l'année 2011. La documentation française.
- Pinto, M., Cavallo, V., & Saint-Pierre, G. (sous presse). Influence of front light configuration on the visual conspicuity of motorcycles. *Accident Analysis & Prevention*.
- Rößger, L., Hagen, K., Krzywinski, J., & Schlag, B. (2012). Recognisability of different configurations of front lights on motorcycles. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1).
- Thomson, G. A. (1980). The role frontal motorcycle conspicuity has in road accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 12(3), 165-178.
- Tsutsumi, Y., Maruyama, K., & Kazumitsu, K. (2008). Long Lighting System for Enhanced Conspicuity of Motorcycles. *JSAE Transaction*, 39(5), 119-124.
- Van Elslande, P., & Jaffard, M. (2010, 11-16 July). *Typical human errors in traffic accidents involving powered two-wheelers*. Paper presented at the 27th International Congress of Applied Psychology, Melbourne, Australia.
- Williams, M. J., & Hoffmann, E. R. (1979). Motorcycle conspicuity and traffic accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 11, 209-224.
- Woltman, H. L., & Austin, R. L. (1974). Some Day and Night Visual Aspects. of Motorcycle Safety. *Transportation Research Record*, 502, 1-8.
- Yan, X., Radwan, E., & Guo, D. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 843-852.
- Zador, P. L. (1985). Motorcycle headlight-use laws and fatal motorcycle crashes in the US, 1975-83. *American Journal of Public Health*, 75(5), 543-546.

